

© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2020

Малькова Н.Ю.^{1,2}, Петрова М.Д.¹, Кирьянова М.Н.¹

Условия труда и функциональное состояние органа зрения работающих в современном производстве изделий микроэлектроники

¹ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья» Роспотребнадзора, 191036, Санкт-Петербург;

²ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет имени И.И. Мечникова» Минздрава России, 191015, Санкт-Петербург

Введение. Микроэлектроника в условиях становления цифровой экономики является драйвером цивилизационного прогресса, обеспечивающего технологический суверенитет, и определяет уровень развития современного общества. Её элементная база непрерывно развивается и совершенствуется в направлении микроминиатюризации электронных компонентов и комплексной миниатюризации аппаратуры. В связи с этим целью исследования явилась гигиеническая оценка условий труда и функционального состояния зрительного анализатора работающих в современном производстве микросхем и полупроводниковых приборов.

Материал и методы. На рабочих местах сборщиков радиодеталей измерялись уровни звука, искусственной освещённости, параметры микроклимата; загрязнение воздушной среды химическими веществами; на основании хронометражных наблюдений оценены тяжесть и напряжённость труда. Функциональное состояние органа зрения изучалось однократно и в динамике рабочего дня. Исследовалась работа аккомодационного аппарата, а также состояние рецепторного звена по порогам цветоощущения.

Результаты. Выявлено, что уровни химических и физических факторов производственной среды при выполнении операций сборки, герметизации и маркировки не превышают нормируемых значений. По результатам хронометражных наблюдений время использования оптических приборов составляет от 55 до 75% смены, что характеризует трудовой процесс как напряжённый как 3-й класс 1-й и 2-й степени, по длительности нахождения в фиксированной позе «сидя» более 50% времени тяжесть труда оценивается как 3-й класс 1-й степени. Получены данные, свидетельствующие об уменьшении объёма аккомодации глаза и об увеличении порогов цветоразличения в динамике рабочего дня.

Заключение. Несмотря на модернизацию производственного оборудования, значительная доля трудовых операций по сборке электронных компонентов и устройств выполняется вручную. В условиях невозможности обеспечения полной автоматизации технологических процессов на изучаемых предприятиях профилактические мероприятия должны быть направлены на организацию рационального режима работы, обеспечивающего снятие напряжения зрения.

К л ю ч е в ы е с л о в а : гигиена труда; напряжение зрения; микроэлектроника.

Для цитирования: Малькова Н.Ю., Петрова М.Д., Кирьянова М.Н. Условия труда и функциональное состояние органа зрения работающих в современном производстве изделий микроэлектроники. Гигиена и санитария. 2020; 99 (6): 591-596. DOI: <https://doi.org/10.33029/0016-9900-2020-99-6-591-596>

Для корреспонденции: Малькова Наталья Юрьевна, доктор биол. наук, главный научный сотрудник отдела комплексной гигиенической оценки физических факторов ФБУН «Северо-Западный центр гигиены и общественного здоровья». E-mail: lasergmal@mail.ru

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Участие авторов: концепция и дизайн исследования, анализ и интерпретация данных, окончательное утверждение статьи – Малькова Н.Ю.; анализ и интерпретация данных, доработка статьи – Кирьянова М.Н.; получение, анализ данных, доработка статьи, подготовка первого варианта статьи – Петрова М.Д.

Поступила 12.03.2020

Принята к печати 25.05.2020

Опубликована 29.07.2020

Mal'kova N.Yu.^{1,2}, Petrova M.D.¹, Kiryanova M.N.¹

Occupational health and functional condition of the organ of vision in employees at the modern production of microelectronics

¹North-West Public Health Research Center, 191036, Saint-Petersburg, Russian Federation;

²I.I. Mechnikov North-Western State Medical University, Saint-Petersburg, 191015, Russian Federation

Introduction. In the emerging digital economy, microelectronics is a driver of civilizational progress, ensuring technological sovereignty, and determines the level of development of modern society. Its elemental base is continuously developing and improving in the direction of microminiaturization of electronic components and complex miniaturization of equipment. In this regard, the purpose of the study was a hygienic assessment of operational conditions and the functional state of the visual analyzer in employees working in the modern production of microchips and semiconductor devices.

Material and methods. At the workplaces of the radio components collectors there were measured sound levels, artificial lighting, and microclimate parameters; air pollution by chemicals; the hardness and intensity of work are estimated based on timing observations. The functional state of the organ of vision was studied once and in the dynamics of the working day. The operation of the accommodation apparatus, as well as the state of the receptor link on the thresholds of color perception, were studied.

Results. Levels of chemical and physical factors of the operational environment during assembly, sealing, and labeling operations were revealed not to be over normalized values. According to the results of timing observations, the time of use of optical instruments is from 55 to 75% of the shift, which characterizes the work process as stressful as grade 3 (harmful) 1st and 2nd degree, according to the duration of being

in a fixed sitting position for more than 50% of the time, the severity of labor is estimated as grade 3 1st degree. The obtained data indicate a decrease in the volume of accommodation of the eye and an increase in color discrimination thresholds in the dynamics of the working day.

Discussion. *In shaping the operational conditions of workers who assemble and control products, the decisive role belongs to the hardness and intensity of the labor process, in particular, to the long-term restriction of motor activity in a fixed sitting position and the visual load associated with performing precision work using optical instruments. A change in the function of vision, characterized by a violation of the accommodative ability of the eye, a decrease in color perception, indicates the development of visual fatigue in collectors.*

Conclusion. *Despite the modernization of production equipment, a significant proportion of labor operations for the assembly of products are carried out manually. Given the impossibility of ensuring complete automation of technological processes at the enterprises, preventive measures should be aimed at organizing a rational mode of operation that provides relief of vision.*

К е у о р д с : occupational health; eye strain; microelectronics.

For citation: Mal'kova N.Yu., Petrova M.D., Kiryanova M.N. Occupational health and functional condition of the organ of vision in employees at the modern production of microelectronics. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian Journal)*. 2020; 99 (6): 591-596. DOI: <https://doi.org/10.33029/0016-9900-2020-99-6-591-596>. (In Russian)

For correspondence: Natalia Yur'evna Mal'kova, Dr. Sci. Biol., chief researcher of the department of complex hygienic assessment of physical factors of North-West Public Health Research Center. E-mail: lasergmal@mail.ru

Information about the authors:

Mal'kova N.Yu., <https://orcid.org/0000-0002-0426-8851>; Petrova M.D., <https://orcid.org/0000-0001-5506-6523>; Kir'yanova M.N., <https://orcid.org/0000-0001-9037-0301>

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgment. The study had no sponsorship.

Contribution: research concept and design, data analysis and interpretation, final approval of the article – Mal'kova N.Yu.; data analysis and interpretation, revision of the article – Kir'yanova M.N.; getting and analyzing data, revision of the article, preparing the first version of the article – Petrova M.D.

Received: March 03, 2020

Accepted: May 25, 2020

Published: July 29, 2020

Введение

Аппаратура на базе изделий микроэлектроники является индикатором технологического развития общества и находит широкое применение во всех сферах деятельности человека [1–4].

Изделия микроэлектроники – полупроводниковые интегральные микросхемы (ИМС), микропроцессоры – позволяют осуществить проектирование и промышленное производство перспективной, функционально сложной аппаратуры. В соответствии со значительным усложнением задач, решаемых электронной аппаратурой, растёт число элементов в ней – до десятков миллионов элементов. Элементная база электроники развивается непрерывно ускоряющимися темпами, продолжает совершенствоваться в наиболее востребованных направлениях – функционального усложнения, повышения надёжности, уменьшения габаритных размеров, массы, стоимости и потребляемой энергии [5–8]. Сборщики радиоэлектронной аппаратуры являются наиболее массовой профессией в отрасли.

Целью исследования явилась гигиеническая оценка условий труда и функционального состояния зрительного анализатора работающих в современном производстве микросхем и полупроводниковых приборов.

Материал и методы

Гигиенические исследования включали измерения физических факторов рабочей среды: уровней шума¹, параметров микроклимата (температуры, относительной влажности, скорости движения воздуха), интенсивности лазерного излучения², искусственной освещённости³, концентраций химических веществ в воздушной среде: свинец, канифоль, этанол, пропан-2-он, никель, эпихлоргидрин – (Хлорметил) оксиран^{4,5}. Измерения и оценка показателей тяжести и на-

пряжённости трудового процесса проведены на основании непрерывных сплошных хронометражных наблюдений в динамике 8-часового рабочего дня с фиксацией затрат времени на выполнение основных, вспомогательных трудовых операций, регламентированных и нерегламентированных перерывов, при которых основное внимание уделялось продолжительности работ, связанных с напряжением зрительного анализатора, монотонностью нагрузок, фиксированной рабочей позы, в соответствии с Руководством Р 2.2.2006-05⁶. Всего выполнено более 2000 исследований факторов производственной среды и показателей трудового процесса. Измерения проводились с использованием утверждённых в системе Росаккредитации методик.

Профессиональная группа сборщиков представлена 37 женщинами в возрасте 21–32 лет, со стажем работы – 2–4 года. Оценивалось функциональное состояние органа зрения однократно и в динамике рабочего дня (до работы, через два часа работы, перед обедом, через два часа работы после обеда, в конце рабочего дня). Работу аккомодационного аппарата исследовали на аккомодометре типа АКА-01. Определялись ближайшая и дальнейшая точки ясного видения, рассчитывался объём абсолютной аккомодации. Объём абсолютной аккомодации определялся разностью между дальнейшей и ближайшей точками ясного видения, выраженной в диоптриях.

Состояние цветовой чувствительности оценивалось на аномалоскопе АН-59. Определялись пороги на красный, зелёный и синий цвета.

Статистический анализ полученных результатов проводился с использованием программы Statistica 8.

Результаты

Основными операциями технологического процесса при сборке радиоэлектронных компонентов (ИМС, ПП) и устройств являются пайка и герметизация. Пайка составляет до 70% объёма сборочных работ и выполняется с применением низкотемпературных свинцово-оловянных припоев ПОС 61, ПОС 40, серебряных – ПСр2, в качестве флюса – канифольно-спиртовые составы или пасты [9]. Для гермети-

¹ ГОСТ ISO 9612-2016 «Акустика. Измерения шума для оценки его воздействия на человека. Метод измерений на рабочих местах».

² СанПиН 2.2.4.3359-16 «Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах».

³ СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*.

⁴ ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» с изменениями от 12.09.2018 г.

⁵ ГН 2.2.5.3532-18 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны».

⁶ Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда. Руководство 2.2.2006-05. СПб.: ЦОТПБСППО; 2005, 144 с.

Таблица 1

Результаты измерений интенсивности лазерного излучения и расчётов ПДУ на рабочем месте оператора лазерных технологических установок

Наименование установки	Технологический процесс	Объект воздействия	Расстояние от отражающей поверхности до объекта воздействия, см	Уровень лазерного излучения, Дж/см ²	Предельно допустимый уровень, Дж/см ²
Фотон компакт	Сварка	Глаза, кожа лица	20–30	$(2,5 \div 4,6) \cdot 10^{-4}$	$3,2 \cdot 10^{-6}$ $1,5 \cdot 10^{-3}$
ALFA-200AUTO	Сварка	Глаза, кожа лица	20–30	$(2,2 \div 3,1) \cdot 10^{-4}$	$3,2 \cdot 10^{-6}$ $1,5 \cdot 10^{-3}$
Мини Маркер	Маркировка, вырезка катодов	Глаза, кожа лица	20–30	Менее $1,10^{-4}$	$3,2 \cdot 10^{-6}$ $1,5 \cdot 10^{-3}$
		Кожа рук	10–15	Менее $1,10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$
AL-75	Сварка вывода с решёткой	Глаза, кожа лица	20–30	Менее $1,10^{-4}$	$3,2 \cdot 10^{-6}$ $1,5 \cdot 10^{-3}$
		Кожа рук	5	$(5,4 \div 8,4) \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$
Speedy 100R	Маркировка	Глаза, кожа лица	20–30	Менее $1,10^{-4}$ Вт/см ²	$5 \cdot 10^{-2}$ Вт/см ²
		Кожа рук	10–15	Менее $1,10^{-4}$ Вт/см ²	$5 \cdot 10^{-2}$ Вт/см ²
Фотон компакт	Сварка ионисторов	Глаза, кожа лица	20–30	Менее $1,10^{-4}$	$3,2 \cdot 10^{-6}$ $1,5 \cdot 10^{-3}$
		Кожа рук	10–15	$(2,2 \div 4,9) \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$
Квант – 15-1	Отсечка и оплавление вывода	Глаза, кожа лица	20–30	Менее $1,10^{-4}$	$3,2 \cdot 10^{-6}$ $1,5 \cdot 10^{-3}$
		Кожа рук	10–15	$(7,3 \div 7,6) \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$
Квант – 15-2	Сварка вывода с решёткой	Глаза, кожа лица	20–30	Менее $1,10^{-4}$	$3,2 \cdot 10^{-6}$ $1,5 \cdot 10^{-3}$
		Кожа рук	10–15	$(5,2 \div 5,3) \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$

зации используют защитные компаунды на основе эпоксидных смол и процесс лазерной сварки.

Пайка контактов выполняется сборщиками вручную, под микроскопом, качество пайки каждой партии изделий подлежит визуальной проверке, после чего изделия передаются для дальнейшей сборки. Суммарное время использования оптического прибора за смену составляет 4,5–6 ч для разных видов изделий.

Все операции по заливке полупроводникового резистора эпоксидной смолой осуществляются под микроскопом в течение 5 ч (остальное время занимает приготовление смолы и другие вспомогательные операции). С помощью ручного инструмента сборщик наносит смолу в пазы пластмассового корпуса, вставляет в корпус резистивный элемент и выводы проводов, закрепляет их и заливает смолой. На крепёжные элементы собранного изделия также наносится смола. Качество заливки проверяется визуально, затем изделия на 0,5 ч устанавливаются в термостат для полной полимеризации.

Герметизация микросхем сваркой в среде аргона выполняется на лазерных установках. Оператор помещает микросхему в специальное приспособление, под микроскопом устанавливает её, ориентируя торцы в заданном положении, и производит сварку. Затем проверяет качество сварки и при необходимости повторяет операцию. Время работы с микроскопом за смену не менее 5,5 ч.

При сборке, монтаже и контроле качества радиоэлектронных элементов и изделий основные трудовые операции выполняются преимущественно с использованием бинокулярного микроскопа. Размер большинства элементов менее 0,5–0,3 мм, что требует точной координации движений, напряжения зрительного анализатора, длительного – до 75% времени смены нахождения в фиксированной позе «сидя». Тяжесть трудового процесса сборщиков оценивается по этому показателю как тяжёлый труд – 3-й класс 1-й степени.

Использование оптических приборов в течение более 50% времени смены характеризует трудовой процесс данных профессиональных групп как напряжённый 1-й степени.

Анализ данных ежегодного производственного контроля на рабочих местах при сборке за 10-летний период свидетельствует, что процессы пайки, лужения контактов сопровождаются выделением в воздушную среду аэрозоля свинцово-оловянных припоев, обнаруженные концентрации в зоне дыхания колебались в пределах от 0,005 до 0,015 мг/м³ при ПДК – 0,05 мг/м³. При маркировке, очистке и герметизации изделий используются органические растворители: ацетон (пропан-2-он), бутилацетат, циклогексанон и (хлорметил) оксиран (эпихлоргидрин): их содержание в воздухе рабочей зоны не превышало соответствующих ПДК. Такие уровни концентраций вредных веществ в воздушной среде обеспечиваются на изучаемых предприятиях эффективно работающей местной вытяжной вентиляцией.

Эквивалентные уровни шума, создаваемого преимущественно работающей приточно-вытяжной вентиляцией, не превышали за смену 62 дБА.

Температура воздуха на рабочих местах сборщиков находилась в пределах 19–21,4 °С при относительной влажности 22–23% и скорости движения 0,03–0,05 м/с. Измеренные значения параметров производственного микроклимата находились в допустимых пределах. Система комбинированного искусственного освещения выполнена люминесцентными лампами, создающими уровни освещённости 2370–2550 лк при нормируемой 2000 лк.

Интенсивность отражённого лазерного излучения для глаз – ниже чувствительности прибора $1 \cdot 10^{-4}$ при ПДУ $3,2 \cdot 10^{-6}$ Дж/см², для кожи – $(2,5–4,2) \cdot 10^{-4}$ Дж при ПДУ $1,5 \cdot 10^{-3}$ Дж/см². Результаты измерений интенсивности лазерного излучения на рабочих местах операторов лазерных установок, полученные на двух предприятиях при герметизации и маркировке ИМС, представлены в табл. 1.

Таблица 2

Средние величины показателей аккомодационного аппарата глаза у представителей обследуемой группы при однократном исследовании ($M \pm m$), дптр

Глаз	Точка ясного видения		Объём абсолютной аккомодации
	ближайшая	дальнейшая	
Правый	$-6,65 \pm 0,06$	$+0,05 \pm 0,34$	$6,6 \pm 1,19$
Левый	$-6,86 \pm 0,77$	$-0,4 \pm 0,76$	$6,45 \pm 1,25$

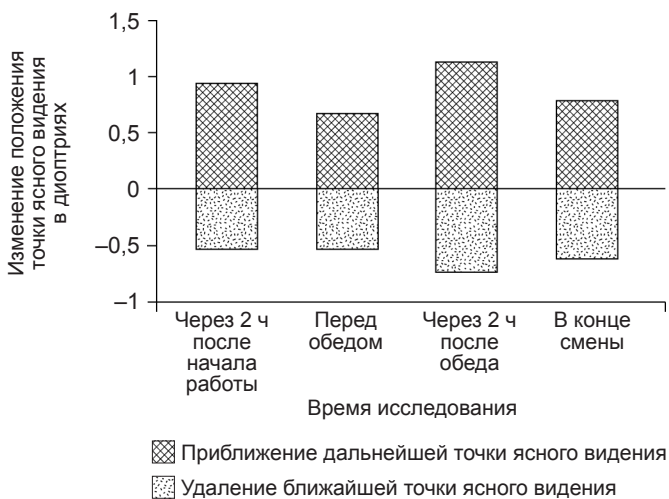
Диффузно отражённое лазерное излучение на рабочем месте оператора не превышает ПДУ для глаз и кожи.

Таким образом, уровни химических и физических факторов производственной среды при выполнении основных технологических операций в изучаемых производствах не превышают нормируемых значений.

С целью выявления изменений, происходящих в органе зрения при выполнении работ (сборка и монтаж микросборки), были проведены исследования аккомодационного аппарата однократно и в динамике рабочего дня.

В табл. 2 представлены величины показателей аккомодационной способности глаза работающих при однократном обследовании. Исследование установило, что объём абсолютной аккомодации находится в пределах возрастной нормы. Достоверных различий между правым и левым глазом не выявлено.

Анализ средних величин изучаемых показателей не выявил достоверных изменений в состоянии аккомодационного аппарата глаза. В то же время индивидуальный анализ изменений показателей аккомодационной способности глаза в динамике рабочего дня позволил установить фазовость процесса (см. рисунок). Уже через 2 ч работы наблюдается удаление ближайшей точки ясного видения на 0,54 дптр и приближение дальнейшей точки ясного видения на 0,94 дптр, соответственно в 60 и 62,5% случаев. При исследовании «до обеда» качественный и количественный характер изменений уменьшается: ближайшая точка ясного видения удаляется на 0,54 дптр, дальнейшая точка ясного видения приближается на 0,67 дптр, соответственно в 70 и 37,5% случаев. Вторичное и более выраженное проявление утомления у сборщиков наблюдается через 2 ч работы после обеда. Удаление ближайшей точки ясного



Состояние аккомодационной способности глаз, характеризующее развитие утомления у представителей обследуемой группы в динамике рабочего дня.

Таблица 3

Средние величины порогов цветоразличения у представителей обследуемой группы при однократном обследовании ($M \pm m$)

Глаз	Пороги цветоразличения, усл. ед.		
	красный	зеленый	синий
Левый	$9,9 \pm 0,37$	$10,9 \pm 0,52$	$10,2 \pm 0,74$
Правый	$10,2 \pm 0,62$	$8,0 \pm 0,7^*$	$8,9 \pm 0,52$

Примечание. Здесь и в табл. 4: * — достоверные различия между правым и левым глазом ($p \leq 0,05$).

ного видения на 0,75 дптр и приближение дальнейшей точки ясного видения на 1,13 дптр отмечается соответственно в 56 и 80% случаев. В дальнейшем к концу смены сохраняется изменение качественных показателей: ближайшая точка ясного видения остаётся удалённой на 0,63 дптр, дальнейшая точка ясного видения приближается на 0,78 дптр.

Исследование цветоразличительной способности даёт возможность судить о ретинальных и корковых изменениях, происходящих в зрительном анализаторе под влиянием напряжённой зрительной работы.

При анализе полученных данных (см. табл. 3) выявлены различия между правым и левым глазом по порогам цветоразличения, как при однократном обследовании, так и в динамике рабочего дня ($p \leq 0,05$). Так, порог цветоразличения на зелёный цвет после однократного обследования левого глаза равен $10,9 \pm 0,52$ усл. ед., правого — $8 \pm 0,7$ усл. ед. ($p \leq 0,05$).

В течение первых 2 ч работы происходит формирование однотипной ответной реакции органа зрения рабочих на зрительные нагрузки. Уже через 2 ч после начала работы выявлено увеличение порогов левого глаза на красный цвет на 16,2%, зелёный — 16,9%, синий — 20,2% правого глаза соответственно на 21,5; 6,2; 38% по сравнению с исходными величинами (табл. 4).

Исследования, выполненные в другие временные интервалы смены, отмечают некоторое улучшение показателей цветоразличения, что указывает на наличие функциональных резервных возможностей органа зрения.

Однако к концу смены сохраняется тенденция к повышению порогов цветоразличения обоих глаз. Наиболее выраженные изменения по сравнению с исходом (до работы) отмечаются на синий цвет.

Таблица 4

Средние величины порогов цветоразличения у представителей обследуемой группы в динамике рабочего дня ($M \pm m$)

Период исследования	Глаз	Пороги цветоразличения, усл. ед.		
		красный	зелёный	синий
До работы	Левый	$8,5 \pm 0,76$	$8,9 \pm 0,74$	$7,2 \pm 0,60$
	Правый	$7,9 \pm 0,74$	$8,5 \pm 0,50$	$7,0 \pm 0,74$
Через 2 ч после начала работы	Левый	$9,9 \pm 0,64$	$10,2 \pm 0,50$	$8,6 \pm 0,84$
	Правый	$9,5 \pm 0,74$	$8,9 \pm 0,67^*$	$9,6 \pm 0,77$
Перед обедом	Левый	$9,8 \pm 0,36$	$9,1 \pm 0,50$	$9,0 \pm 1,0$
	Правый	$8,9 \pm 0,80$	$9,3 \pm 0,50$	$9,3 \pm 0,50$
Через 2 ч после обеда	Левый	$9,2 \pm 0,50$	$9,7 \pm 0,50$	$9,2 \pm 0,64$
	Правый	$9,4 \pm 0,74$	$9,0 \pm 0,50$	$9,5 \pm 0,50$
В конце смены	Левый	$8,9 \pm 0,74$	$9,1 \pm 0,80$	$8,8 \pm 1,0$
	Правый	$8,5 \pm 0,74$	$8,6 \pm 0,50$	$8,7 \pm 0,90$

Обсуждение

Таким образом, уровни химических и физических факторов производственной среды при выполнении основных сборочных операций в изучаемых производствах находятся в пределах нормируемых значений. Полученные данные подтверждают результаты ранее выполненных исследований, характеризующих гигиенические факторы производственной среды при сборке, монтаже и контроле качества радиоэлектронных компонентов как факторы малой интенсивности [8, 10].

На изучаемых производствах основной объём наиболее ответственных работ по-прежнему выполняется вручную, несмотря на автоматизацию отдельных операций технологического цикла, применение технически более совершенных паяльных станций, припоев и флюсов в виде паяльных паст, повышающих качество пайки.

Миниатюризация изделий и их элементов диктует необходимость всё более широкого применения оптических приборов на всех этапах выполнения сборочных операций. При выполнении прецизионных зрительных работ в условиях длительного ограничения общей двигательной активности в фиксированном положении «сидя» и нагрузки на зрительный анализатор при работе с микроскопом ведущими неблагоприятными факторами являются тяжесть и напряжённость трудового процесса.

По мнению многих исследователей, длительное выполнение прецизионных зрительных работ под микроскопом характеризуется высоким зрительным напряжением и вниманием, необходимостью чёткой зрительно-моторной координации, локальной нагрузкой на кисти рук с ограничением общей двигательной активности, монотонией трудовой деятельности и связано с риском нарушений зрения, заболеваний опорно-двигательного аппарата, сердечно-сосудистых заболеваний, гормональных и иммунных нарушений [11–16].

Для выявления развития зрительного утомления важными показателями являются аккомодационная и цветоразличительная способности глаза.

Известно, что развитие утомления приводит к уменьшению объёма абсолютной аккомодации за счёт удаления ближайшей точки ясного видения и (или) приближения дальнейшей точки ясного видения [17–20]. С целью выявления изменений, происходящих в органе зрения при выполнении данного вида работ (сборка и монтаж микросборки), были проведены исследования аккомодационного аппарата неоднократно и в динамике рабочего дня. Полученные данные свидетельствуют об изменениях в органе зрения в процессе трудовой деятельности, выявленных уже через два часа работы, которые выражаются расстройством аккомодационной способности — уменьшением объёма абсолютной аккомодации.

Исследование цветоразличительной способности даёт возможность судить о ретинальных и корковых изменениях, происходящих в зрительном анализаторе под влиянием напряжённой зрительной работы.

При анализе полученных данных выявлены различия между правым и левым глазом по порогам цветоразличения как при однократном обследовании, так и в динамике рабочего дня ($p \leq 0,05$).

В первые два часа работы происходит формирование однотипной ответной реакции органа зрения рабочих на зрительные нагрузки. Уже через 2 ч после начала работы выявлено увеличение порогов на красный, зелёный, синий цвета в диапазоне от 6,2 до 38% по сравнению с исходными величинами (до работы). Полученные данные свидетельствуют об ухудшении функции зрения работников.

Исследования, выполненные в другие временные интервалы смены, отмечают некоторое улучшение показателей цветоразличения, что указывает на наличие функциональных резервных возможностей органа зрения. Однако к концу рабочего дня сохраняется тенденция к снижению порогов цветоразличения обоих глаз. Наиболее выраженные изменения отмечаются на синий цвет. Это объясняется наибольшей ранимостью синевоспринимающего аппарата по сравнению с красно- и зелёновоспринимающим аппаратами зрительного анализатора.

Таким образом, можно сделать вывод, что состояние цветовой чувствительности органа зрения сборщиц изменено.

В обследуемой профессиональной группе наименьшие пороги цветоразличения наблюдаются до начала работы. Это указывает на то, что время отдыха после прекращения работы достаточно для восстановления функции зрения, нарушенной в процессе работы.

Поскольку физические факторы производственной среды, такие как освещение и лазерное излучение, способные негативно воздействовать на орган зрения, находятся в пределах гигиенических норм, то изменение функции зрения, характеризующееся нарушением аккомодационной способности глаза, снижением цветовосприятия и свидетельствующее о развитии зрительного утомления, вызывает трудовая деятельность сборщиков радиодеталей и полупроводниковых приборов.

Существующие организационные и экономические ограничения не позволяют внедрить комплексную автоматизацию технологических и контрольно-измерительных операций на изучаемых производствах ПП и ИМС. В этих условиях для минимизации профессионального риска здоровью работающих профилактические мероприятия должны быть направлены на организацию рационального внутрисменного режима труда и отдыха. Для профилактики развития хронического перенапряжения, общего и зрительного утомления регламентированные внутрисменные перерывы следует использовать для проведения специальных комплексов упражнений для глаз, методов психофизиологической разгрузки.

Для реабилитации функционального состояния зрительного анализатора работающих в производстве радиоэлектронных компонентов: сборщиков радиодеталей и полупроводниковых приборов (ПП) под микроскопом рекомендуется проводить профилактические мероприятия, основанные на бинокулярном воздействии лазерным излучением красной области спектра на глаза энергетической освещённостью $2 \cdot 10^{-7}$ Вт/см² при времени действия 2 мин в течение 5 дней.

Заключение

На основании проведённых гигиенических исследований установлено, что приоритетными факторами профессионального риска здоровью работающих в профессии сборщика в производстве ПП и ИМС являются нагрузка на опорно-двигательный аппарат в сочетании с напряжением зрения.

Несмотря на модернизацию производственного оборудования, значительная доля трудовых операций по сборке изделий выполняется вручную. При невозможности полной автоматизации технологических процессов на изучаемых предприятиях профилактические мероприятия должны быть направлены на организацию рационального режима работы, обеспечивающего снятие напряжения зрения и опорно-двигательного аппарата.

Литература (п. 5, 9 см. References)

1. Белоус А.И., Лабунов В.А., Солодуха В.А. Современная микроэлектроника: тенденции развития, проблемы и угрозы. В кн.: *4-я Международная научная конференция «Электронная компонентная база и микроэлектронные модули». Сборник тезисов. Республика Крым, г. Алушта, 1–6 октября 2018 г.* М.: ТЕХНОСФЕРА; 2019: 18–23.
2. Назаркин М.Ю. Микроэлектроника в медицине. В кн.: *4-я Международная научная конференция «Электронная компонентная база и микроэлектронные модули». Сборник тезисов. Республика Крым, г. Алушта, 1–6 октября 2018 г.* М.: ТЕХНОСФЕРА; 2019: 169.

3. Шпак В.В. Микроэлектронная промышленность – основа суверенитета России. В кн.: 4-я Международная научная конференция «Электронная компонентная база и микроэлектронные модули». Сборник тезисов. Республика Крым, г. Алушта, 1–6 октября 2018 г. М.: ТЕХНОСФЕРА; 2018: 24–8.
4. Елесин В.В., Усачев Н.А., Никифоров А.Ю. и соавт. Электронная компонентная база твердотельной СВЧ-электроники: тенденции развития, современное состояние и проблемы. В кн.: Международная конференция «Микроэлектроника-2018». Сборник тезисов. М.: ТЕХНОСФЕРА; 2018: 35–9.
6. Засемков В.С. Разработка новой электронной компонентной базы для нейроморфных интегральных схем. В кн.: 5-я Международная научная конференция «Электронная компонентная база и микроэлектронные модули». Сборник тезисов Международного форума «Микроэлектроника-2019» Республика Крым, г. Алушта, 30 сентября – 05 октября 2019 г. М.: ТЕХНОСФЕРА; 2019: 533–7.
7. Засемков В.С. Создание гибкой производственной лаборатории АИДЛ для мелкосерийного производства специализированных интегральных схем. В кн.: 4-я Международная научная конференция «Электронная компонентная база и микроэлектронные модули». Сборник тезисов. Республика Крым, г. Алушта, 1–6 октября 2018 г. М.: ТЕХНОСФЕРА; 2019: 569–71.
8. Хисамов А.Х. СТО нового формата для малых полупроводниковых производств как путь конкурентоспособного развития микроэлектроники в РФ. В кн.: 5-я Международная научная конференция «Электронная компонентная база и микроэлектронные модули». Сборник тезисов Международного форума «Микроэлектроника-2019» Республика Крым, г. Алушта, 30 сентября – 05 октября 2019 г. М.: ТЕХНОСФЕРА; 2019: 519–24.
10. Трофимов В.А., Степанов В.В., Федосеева Н.М., Луговский Г.А. Гигиенические аспекты условий труда в производствах микроэлектронного приборостроения. В кн.: Вопросы гигиены труда в радиоэлектронной промышленности. М.; 1979: 8–15.
11. 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: 3–7.
12. Дубейковская Л.С., Фролова Н.М., Салангина Л.И., Кирьянова М.Н. Труд и здоровье женщин, занятых процессами пайки свинцово-оловянными припоями. В кн.: Материалы конференции «Здоровье женщин и проблемы безопасности женского труда». СПб.; 2003: 93–6.
13. 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; 59 (8): 494–501.
14. Кирьянова М.Н., Маркова О.Л., Иванова Е.В. Гигиеническая оценка условий труда при производстве радиоэлектронных компонентов. Гигиена и санитария. 2018; 12: 1235–8.
15. Дубейковская Л.С., Салангина Л.И., Маркова О.Л., Сладкова Ю.Н. Гигиеническая оценка условий труда и состояние здоровья женщин, занятых процессами пайки. Медицина труда и промышленная экология. 2001; 10: 8–13.
16. Фролова Н.М. Оценка профессионального риска работающих женщин в радиоэлектронном приборостроении. Охрана труда и техника безопасности на промышленных предприятиях. 2013; 3: 17–9.
17. Плеханов В.П. Оценка риска хронического перенапряжения пользователей компьютеров в зависимости от возраста и стажа работы. Медицина труда и промышленная экология. 2018; 5: 58–61.
18. Сорокин Г.А. Утомление и профессиональный риск. СПб.: Издательство СПб Политехнического университета; 2008. 368 с.
19. Никонов В.А., Мельцер А.В., Мозжухина Н.А., Еремин Г.Б. Оценка условий труда и функционального состояния зрительного анализатора у работников ювелирного производства. Медицина труда и промышленная экология. 2015; 9: 104.
20. Никонов В.А., Мозжухина Н.А., Еремин Г.Б. Научное обоснование разработки профилактических мероприятий при напряжённых зрительных работах. Здоровье населения и среда обитания. 2014; 3 (252): 14–5.

References

1. Belous A.I., Labunov V.A., Soloduha V.A. Modern microelectronics: development trends, problems and threats. In: 4th International Scientific Conference “Electronic Component Base and Microelectronic Modules”. Collection of abstracts. Republic of Crimea, Alushta, October 1–6, 2018 [4-ya Mezhdunarodnaya nauchnaya konferenciya «Elektronnaya komponentnaya baza i mikroelektronnyye moduli». Sbornik tezisov. Respublika Krym, g. Alushta, 1–6 oktyabrya 2018 g.]. Moscow: TEKHNOСFЕRA; 2019: 18–23. (in Russian)
2. Nazarkin M.Yu. Microelectronics in medicine. In: 4th International Scientific Conference “Electronic Component Base and Microelectronic Modules”. Collection of abstracts. Republic of Crimea, Alushta, October 1–6, 2018 [4-ya Mezhdunarodnaya nauchnaya konferenciya «Elektronnaya komponentnaya baza i mikroelektronnyye moduli». Sbornik tezisov. Respublika Krym, g. Alushta, 1–6 oktyabrya 2018 g.]. Moscow: TEKHNOСFЕRA; 2019: 169. (in Russian)
3. Shpak V.V. Microelectronics industry is the basis of the sovereignty of Russia. In: 4th International Scientific Conference “Electronic Component Base and Microelectronic Modules”. Collection of abstracts. Republic of Crimea, Alushta, October 1–6, 2018 [4-ya Mezhdunarodnaya nauchnaya konferenciya «Elektronnaya komponentnaya baza i mikroelektronnyye moduli». Sbornik tezisov. Respublika Krym, g. Alushta, 1–6 oktyabrya 2018 g.]. Moscow: TEKHNOСFЕRA; 2018: 24–8.
4. Elesin V.V., Usachev N.A., Nikiforov A.Yu. et al. Electronic component base of solid-state microwave electronics: development trends, current state and problems. In: International Conference “Microelectronics-2018”. Collection of abstracts. Moscow: TEKHNOСFЕRA; 2018: 35–9. (in Russian)
5. Amano H., Baines Y., Borga M. et al. The 2018 GaN power electronics roadmap. J Phys D. 2018; 51 (16): 163001.
6. Zasemkov V.S. Development of a new electronic component base for neuromorphic integrated circuits. In: 5th International Scientific Conference “Electronic Component Base and Microelectronic Modules”. Abstracts of the International Forum “Microelectronics-2019” Republic of Crimea, Alushta, September 30 – October 05, 2019 [5-ya Mezhdunarodnaya nauchnaya konferenciya «Elektronnaya komponentnaya baza i mikroelektronnyye moduli». Sbornik tezisov. Respublika Krym, g. Alushta, 30 sentyabrya – 05 oktyabrya 2019 g.]. Moscow: TEKHNOСFЕRA; 2019: 533–7. (in Russian)
7. Zasemkov V.S. Creating a flexible aidl production laboratory for small-scale production of specialized integrated circuits. In: 4th International Scientific Conference “Electronic Component Base and Microelectronic Modules”. Collection of abstracts. Republic of Crimea, Alushta, October 1–6, 2018 [4-ya Mezhdunarodnaya nauchnaya konferenciya «Elektronnaya komponentnaya baza i mikroelektronnyye moduli». Sbornik tezisov. Respublika Krym, g. Alushta, 1–6 oktyabrya 2018 g.]. Moscow: TEKHNOСFЕRA; 2019: 569–71. (in Russian)
8. Hisamov A.H. STO new format for small semiconductor production as a way of competitive development of microelectronics in the Russian Federation. In: 5th International Scientific Conference “Electronic Component Base and Microelectronic Modules”. Abstracts of the International Forum “Microelectronics-2019” Republic of Crimea, Alushta, September 30 – October 05, 2019 [5-ya Mezhdunarodnaya nauchnaya konferenciya «Elektronnaya komponentnaya baza i mikroelektronnyye moduli». Sbornik tezisov. Respublika Krym, g. Alushta, 30 sentyabrya – 05 oktyabrya 2019 g.]. Moscow: TEKHNOСFЕRA; 2019: 519–24. (in Russian)
9. Global semiconductor manufacturing equipment spending to decline in 2013, Gartner says. Solid State Technology, 2013, June 20.
10. Trofimov V.A., Stepanov V.V., Fedoseeva N.M., Lugovskiy G.A. Hygienic aspects of working conditions in microelectronic instrument manufacturing. In: Occupational health issues in the electronics industry [Voprosy gigeny truda v radioelektronnoy promyshlennosti]. Moscow; 1979: 8–15. (in Russian)
11. Dubeykovskaya L.S., Frolova N.M., Salangina L.I., Kir'yanova M.N., Sladkova Yu.N. Occupational health and health of workers in instrumentation. Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya [Russian Journal of Occupational Health and Industrial Ecology. 2001; 10: 3–7. (in Russian)
12. Dubeykovskaya L. S., Frolova N. M., Salangina L.I., Kir'yanova M.N. Labor and health of women engaged in soldering processes with lead-tin solders. In: Proceedings of the conference “Women's Health and the Problems of Women's Labor Safety” [Materialy konferentsii “Zdorov'e zhenshchin i problemy bezopasnosti zhenskogo truda”]. Saint Petersburg; 2003: 93–6. (in Russian)
13. Kir'yanova M.N., Markova O.L., Ivanova E.V. Features of formation of working conditions of workers of the main professions in the production of integrated circuits. Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya [Russian Journal of Occupational Health and Industrial Ecology. 2019; 59 (8): 494–501. (in Russian)
14. Kir'yanova M.N., Markova O.L., Ivanova E.V. Hygienic assessment of working conditions in radio-electronic component production. Gigena i sanitariya [Hygiene and Sanitation, Russian journal]. 2018; 12: 1235–8. (in Russian)
15. Dubeykovskaya L.S., Salangina L.I., Markova O.L., Sladkova Yu.N. Occupational hygiene and health of the working instrument. Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya [Russian Journal of Occupational Health and Industrial Ecology. 2001; 10: 8–13. (in Russian)
16. Frolova N.M. Professional risk Assessment of working women in radio-electronic instrumentation. Oхрана труда i tekhnika bezopasnosti na promyshlennykh predpriyatiyakh. 2013; 3: 17–9. (in Russian)
17. Plekhanov V.P. Assessment of the risk of chronic overstrain of computer users depending on their age and work experience. Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya [Russian Journal of Occupational Health and Industrial Ecology. 2018; 5: 58–61.
18. Sorokin G.A. Fatigue and professional risk [Utomleniye i professional'nyy risk]. Saint Petersburg: Izdatel'stvo SPb Politekhnicheskogo universiteta; 2008. 368 p. (in Russian)
19. Nikonov V.A., Mel'tser A.V., Mozhukhina N.A., Yeremin G.B. Assessment of working conditions and functional state of the visual analyzer in jewelry production workers. Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya [Russian Journal of Occupational Health and Industrial Ecology. 2015; 9: 104. (in Russian)
20. Nikonov V.A., Mozhukhina N.A., Eremin G.B. Scientific justification for the development of preventive measures for strenuous visual work. Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya [Public Health and Life Environment]. 2014; 3 (252): 14–5. (in Russian)