

Особенности формирования условий труда работников основных профессий в производстве интегральных микросхем

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

Актуальность. Современный этап развития электроники характеризуется широким применением интегральных микросхем (ИМС). Оценка состояния условий труда работающих в перспективном, развивающемся производстве радиоэлектронных компонентов с гигиенических позиций является актуальной задачей.

Цель исследования — проведение гигиенической оценки условий труда работников основных профессий при производстве ИМС.

Материалы и методы. Гигиенические исследования, проведенные на трех современных предприятиях по производству микросхем и полупроводниковых приборов, включали изучение условий и характера труда работников основных профессий. Выполнено 215 химических анализов на содержание вредных веществ с целью оценки воздушной среды и 270 измерений уровней физических факторов на 18 рабочих местах.

Результаты. Представлены результаты гигиенической оценки условий труда работников, занятых изготовлением микросхем: операторов химической обработки, прецизионной фотолитографии (ПФЛ), диффузионных процессов, вакуумного напыления. На основании анализа технологического процесса и перечня применяемых материалов, данных хронометражных наблюдений проведены исследования загрязнения воздуха рабочей зоны, уровней звука, искусственной освещенности, параметров микроклимата (температура, влажность, скорость движения воздуха), показателей трудового процесса. Выделены профессии, труд в которых характеризуется контактом с токсичными химическими соединениями, выполнением точных зрительных работ с применением оптической техники 55% времени рабочей смены. Определены приоритетные факторы профессионального риска для здоровья работающих в современном производстве ИМС и основные направления оптимизации производственной среды.

Выводы. На основании проведенных гигиенических исследований установлено, что приоритетными факторами профессионального риска для здоровья работающих в производстве микросхем является нагрузка на опорно-двигательный аппарат в сочетании с напряжением зрения.

При сохранении значительного удельного веса трудовых операций, выполняемых вручную, и недостаточном внедрении автоматизации технологических процессов производства ИМС профилактические мероприятия должны быть направлены на организацию рационального режима работы, обеспечивающего снятие напряжения зрения и опорно-двигательного аппарата.

Ключевые слова: производство интегральных микросхем; условия труда; воздух рабочей зоны; нагрузка на зрительный анализатор; фиксированная рабочая поза

Для цитирования: Кириянова М.Н., Маркова О.А., Иванова Е.В. Особенности формирования условий труда работников основных профессий в производстве интегральных микросхем. *Мед. труда и пром. экол.* 2019; 59 (8). <http://dx.doi.org/10.31089/1026-9428-2019-59-8-508-512>

Для корреспонденции: Кириянова Марина Николаевна, ст. науч. сотр. ФБУН «СЗНЦ гигиены и общественного здоровья», канд. мед. наук. E-mail: mrn@fo.ru.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Marina N. Kir'yanova, Ol'ga L. Markova, Elena V. Ivanova

Features of formation of working conditions of workers of the main professions in the production of integrated circuits

North-West Public Health Research Center, 4, 2-ya Sovetskaya str., St. Petersburg, Russia, 191036

Introduction. The modern stage of development of electronics is characterized by the widespread use of integrated circuits (IC). Assessment of working conditions in a promising, developing production of electronic components with hygienic positions is an urgent task.

The aim of the study is to conduct a hygienic assessment of working conditions of workers in the main professions in the production of IC.

Materials and methods. Hygienic research conducted at three modern enterprises for the production of chips and semiconductor devices, included the study of the conditions and nature of work of workers in the main professions. 215 chemical analyses for the content of harmful substances were carried out in order to assess the air environment and 270 measurements of the levels of physical factors at 18 workplaces.

Results. Findings of hygienic assessment of working conditions for employees engaged in manufacture of microcircuits: operators of chemical processing, precision photolithography (PPL), diffusion processes, vacuum deposition, and IMC assemblers are reported. Based on the analysis of the technological process and the list of materials used and time-study data,

the studies of workplace air pollution, sound levels, artificial lighting, microclimate parameters (temperature, humidity, air velocity), working process parameters were carried out.

The jobs in which work is characterized by toxic chemicals exposure, precision visual operations using optical instruments during 55% of the shift were singled out. Priority occupational health risk factors for workers employed in modern IMC production and main areas of working environment optimization were revealed.

Conclusions. Based on the conducted hygienic studies, musculoskeletal system load combined with visual strain were found to be the priority occupational health risk factors for microcircuit production workers.

Manual operations taking up a significant part of the working process and introduction of automated IMC technological processes being insufficient, preventive measures should be aimed at organizing a rational working regime that provides reducing of visual strain and musculoskeletal system load.

Key words: integrated microcircuit production; working conditions; workplace air; visual analyzer load; strained work posture constrained working posture

For citation: Kiryanova 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. *Med. truda i prom. ekol.* 2019; 59 (8). <http://dx.doi.org/10.31089/1026-9428-2019-59-8-508-512>

For correspondence: Marina N. Kiryanova, senior researcher of North-West Public Health Research Center, Cand. of Sci (Med.). E-mail: mrn@ro.ru

Funding: The study had no funding.

Conflict of interests. The authors declare is no conflict of interests.

Актуальность. Микроэлектроника в условиях интенсивного развития цифровой экономики является драйвером технологического прогресса. Уровень развития и суверенитет современного общества определяется научными достижениями в области радиоэлектроники, информационных технологий передачи и обработки информации и характеризуется широким использованием полупроводниковых приборов (ПП) и интегральных микросхем (ИМС), действие которых основано на электронных процессах в полупроводниках [1–3].

Особый класс ПП — полупроводниковые интегральные схемы — электронные устройства в виде единого блока (пластины) из кремния, германия, на котором методами полупроводниковой технологии образованы зоны, выполняющие функции активных и пассивных элементов (диодов, транзисторов, резисторов, конденсаторов и др.).

В литературных источниках работы, посвященные состоянию условий труда при изготовлении ИМС и ПП на современных предприятиях радиоэлектронной промышленности, крайне малочисленны [4–8]. Оценка профессионального риска для здоровья работающих в перспективном, развивающемся производстве радиоэлектронных компонентов с внедрением нового оборудования и технологических процессов с гигиенических позиций является актуальной задачей.

Цель исследования — проведение гигиенической оценки условий труда основных профессий при производстве ИМС.

Для выполнения поставленной цели необходимо:

— выделить наиболее неблагоприятные с гигиенических позиций технологические операции производственного цикла;

— дать характеристику вредных и опасных производственных факторов, оказывающих влияние на здоровье работающих;

— определить приоритетные направления оптимизации производственной среды.

Материалы и методы. Гигиенические исследования проводились на базе трех предприятий по производству ИМС и включали изучение условий и характера труда работников основных профессий.

С целью оценки воздушной среды производственных помещений было выполнено 215 химических анализов на содержание вредных веществ и аэрозолей на 18 рабочих

местах в зоне дыхания работающих при выполнении характерных производственных операций в течение рабочей смены при действующем технологическом и вентиляционном оборудовании.

В соответствии с методическими указаниями при отборе проб воздуха использовались приборы с жидкими поглотительными средами, с пленочными, твердыми сорбентами, фильтры АФА.

Содержание газов, паров неорганических кислот, компонентов эпоксидных смол, флюсов, растворителей измерялось спектрофотометрическими и фотометрическими методами, методом фотоионизационного детектирования, также использовались селективные электрохимические датчики ЭХД-NO₂; ЭХД-HCl газоанализатора АНТ-3М.

Исследования загрязнения воздушной среды аэрозолями металлов проводились методом пламенной атомной абсорбционной спектроскопии, для измерения содержания органических соединений применялся хроматографический метод анализа.

При выполнении основных производственных операций оценивались уровни звука, искусственной освещенности, параметры микроклимата (температура, влажность, скорость движения воздуха); измерение уровней физических факторов производственной среды проводилось с использованием утвержденных в системе Росаккредитации методов.

Измерения и оценка показателей тяжести и напряженности трудового процесса проводились на основании хронометражных наблюдений в соответствии с Руководством Р 2.2.2006–05 [9].

Всего выполнено 1025 исследований факторов производственной среды и показателей трудового процесса.

Результаты и обсуждение. Современная технология изготовления ИМС предусматривает создание в малом объеме полупроводникового кристалла сложной многофункциональной схемы путем изменения электрических свойств полупроводника при введении в его структуру легатур, выполняющих функции различных радиоэлементов.

Основой для создания ИМС служат пластины из полупроводника (подложки), как правило, на основе кремния. Подложки подвергаются механической и химической обработке (промывка, обезжиривание), затем на их поверхности формируют слой материала (диэлектрических или металлических пленок) с заданной структурой методом эпитаксиального наращивания. Пластина подвергается

сложной фотолитографической обработке (нанесение фоторезиста; совмещение и экспонирование; удаление засвеченных участков фоторезиста; вытравливание защитного слоя диоксида кремния; удаление оставшегося фоторезиста). Через окна в защитном слое в поверхность подложки производится диффузия легирующих примесей для получения активных и пассивных областей структур. Основные этапы литографического цикла повторяются в соответствии с числом операций, необходимых для создания ИМС, обычно 15–30. Каждый технологический этап сопровождается визуальным контролем качества обработки под микроскопом. Затем методом напыления выполняется нанесение омических контактов и создание пассивных компонентов. Пластина разделяется на кристаллы-ИМС, к кристаллам присоединяются токопроводящие выводы. Полученные ИМС подлежат герметизации, испытаниям и упаковке.

Процессы литографической обработки кристаллов являются основой уменьшения минимальных размеров элементов изделий микроэлектроники, именно они определяют уровень технологии и качество ИМС.

Технологический процесс изготовления ИМС организован на изучаемых предприятиях в изолированных помещениях основных производственных участков: химической обработки, прецизионной фотолитографии (ПФЛ), диффузионных процессов, вакуумно-напылительных процессов, сборки ИМС. Наиболее строгие требования к воздушной среде регламентируются для процессов ПФЛ и вакуумного напыления, в помещениях этих участков средствами электронной гигиены обеспечиваются концентрации частиц 60000–100000 в 1 м³ воздуха, что соответствует 7 классу чистоты по ГОСТ Р ИСО 14644–7–2007 «Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды» [10].

К основным профессиям производства ИМС относятся операторы ПФЛ, химической обработки, диффузионных процессов, вакуумного напыления. В результате проведенного анализа особенностей технологического процесса и данных хронометражных наблюдений были выделены профессиональные группы, трудовая деятельность которых характеризуется максимальной возможностью контакта работников с химическими соединениями, обладающими высокой токсичностью, при выполнении трудовых операций вручную, а также значительным удельным весом работ с микроскопом.

Процессы диффузии и вакуумного напыления осуществляются на герметичном, автоматизированном оборудовании, обслуживание производится дистанционно, при этом время контакта с химическими веществами (оксиды металлов, соли и оксиды бора, фосфора) незначительно, а концентрации применяемых реагентов в воздушной среде не превышали соответствующих ПДК. Время контроля качества изделий под микроскопом у операторов диффузионных процессов и вакуумного напыления не превышает 8% смены.

Значительный удельный вес ручных операций сохраняется при выполнении фотолитографии и химической обработки, при этом контакт с используемыми вредными веществами (органические растворители, растворы кислот, щелочей) у операторов ПФЛ и операторов химической обработки максимальный. Наибольшее количество контрольных операций с использованием оптической техники характерно для операторов ПФЛ.

Гигиеническая оценка условий труда операторов ПФЛ и операторов химической обработки проводилась на производствах ИМС с разными вариантами организации тру-

да: за каждым работником закреплены отдельные операции (предприятия 1 и 2), в бригаде каждый работник выполняет все операции (предприятие 3).

Оператор ПФЛ в течение рабочего дня выполняет последовательно все этапы фотолитографии. Для работы с химическими веществами, ручного дозирования применяются пипетки, шприцы. Процессы совмещения-экспонирования, а также необходимые на каждом этапе литографического цикла операции контроля качества обработки поверхности выполняются под микроскопом с 100–160-кратным оптическим увеличением. По данным хронометражных наблюдений, время работы с использованием микроскопа составляет при разных вариантах организации труда от 47 до 55% смены.

Тяжесть трудового процесса оператора ПФЛ оценивается как 3 класс — тяжелый труд 1 степени, определяющим показателем является фиксированная в положении сидя рабочая поза в течение 55% времени смены. Остальные показатели находятся в оптимальных пределах.

Напряженность трудового процесса оператора ПФЛ определяется в основном показателями, характеризующими сенсорную нагрузку: длительность сосредоточенного наблюдения занимает до 60% смены, время работы с микроскопом — до 55% смены и оценивается как напряженный труд 1 степени.

Оператор химической обработки выполняет обезжиривание пластин в среде органических растворителей, травление SiO₂ на пластинах, снятие фоторезиста с использованием кислот или органических растворителей, а также очистку технологической оснастки в растворах неорганических кислот или их смесей. Контроль качества обработки под микроскопом занимает не более 5% времени.

Тяжесть и напряженность трудового процесса оператора химической обработки оцениваются как 2 класс.

Эквивалентные уровни звука на рабочих местах операторов ПФЛ и химической обработки составили за смену 60–62 дБА при ПДУ 65 дБА для операторов ПФЛ и 80 дБА для операторов химической обработки, установленных с учетом тяжести и напряженности трудового процесса. Источником шума является преимущественно работа систем кондиционирования воздуха и приточно-вытяжной вентиляции, максимум звуковой энергии — в средне- и низкочастотном диапазоне (31,5–500,0 Гц).

Температура и относительная влажность в производственных помещениях поддерживаются в соответствии с требованиями электронной (технологической) гигиены, направленными на защиту изделий от неблагоприятных внешних воздействий, колебания температуры в течение рабочего дня не превышают ± 2 °С, относительной влажности — ± 10 %. Измеренные значения этих параметров на рабочих местах находились в пределах: 22,8–23,4 °С и 47–50%, скорость движения воздуха — 0,01–0,04 м/с, что соответствует допустимому диапазону санитарных норм для категории выполняемых работ 1а–1б.

Основным источником, формирующим световую среду на рабочих местах операторов ПФЛ и химической обработки, является система комбинированного искусственного освещения, выполненная люминесцентными лампами, так как естественное освещение ограничено в соответствии с технологическими требованиями (КЕО не превышает 0,5%). Средняя освещенность рабочих поверхностей на участках фотолитографии составляет 2570–3170 лк при нормируемой 3000 лк; на участках химической обработки — 740–930 лк при нормируемой 400 лк. Коэффициент пульсации освещенности находился в пределах 7–9%, что

Концентрации химических веществ в воздухе рабочей зоны операторов ПФЛ и химической обработки
Chemical concentrations in the workplace air PFL and chemical treatment operators

Место отбора проб, рабочие операции:	Определяемое вещество	Концентрации, мг/м ³	ПДК, мг/м ³
Предприятия № 1 и 2, оператор ПФЛ			
При нанесении фоторезиста	1,4-Диоксан	2,5–3,6	10
	N,N Диметилформамид	0,7–4,9	10
При удалении фоторезиста	Азота диоксид	0,16–0,2	2
	N,N Диметилформамид	0,7–2,8	10
	Пропан–2-ол	1,3–24,2	50
	2-Аминоэтанол	0,12–1,5	0,5
Травление	Гидрофторид	0,1–0,24	0,5
	Этановая кислота	2,5–2,8	5
Предприятия № 1 и 2, оператор химической обработки			
Приготовление травителей	Азота диоксид	0,2–1,3	2,0
	Гидрофторид	0,12–0,32	0,5
	Этановая кислота	2,5–3,1	5
	Аммиак	0,9–2,3	20
Обработка пластин	Азота диоксид	1,2–1,6	2,0
	Гидрофторид	0,1–0,14	0,5
	Этановая кислота	2,5–3,7	5
	Гидрохлорид	2,5–4,1	5
	Серная кислота	0,5–0,8	1
Обработка пластин органическими растворителями	Метиабензол	1,5–15,2	150
	Пропан–2-ол	1,0–3,0	50
	Пропан–2-он	15–171	800
Предприятие № 3, оператор ПФЛ			
При травлении подложек	Азота диоксид	0,17–0,29	2
При нанесении фоторезиста	1,4-Диоксан	3,5–5,0	10
При травлении трафаретов	Хром (VI) триоксид	0,007–0,021	0,03
При снятии фоторезиста	2-Аминоэтанол	<0,12	0,5
	Пропан–2-он	<100	800
	Азота диоксид	0,21–0,35	2
При изготовлении фотошаблонов	Пропан–2-он	100–139	800
	Гидрохлорид	<2,5	5

не превышает нормируемого значения 10% для разряда зрительных работ «очень высокой точности». Результаты оценки параметров световой среды свидетельствуют о том, что система искусственного освещения не обеспечивает достаточных уровней освещенности при выполнении литографической обработки.

Оценка состояния воздуха рабочей зоны проведена в процессе выполнения отдельных операций. Широкий спектр применяемых химических реагентов определяется сложностью технологического процесса изготовления ИМС. Для обезжиривания и химической обработки пластин в различных вариантах технологий используются азотная, плавиковая, соляная кислоты, четыреххлористый углерод, при подготовке поверхности пластин к нанесению или снятию фоторезиста применяют пропан–2-он, 2-аминоэтанол. Нанесение фоторезиста на пластины осуществляется с применением фенол- и крезолоформальдегидных смол, диметилформамида, 1,4 диоксана, метилэтилкетона, пропан–2-ола. В процессе подготовки шаблонов и для приготовления проявителей используются азотная кислота и

буферный травитель, в состав которого входят гидрофторид и фторид аммония.

Для травления SiO₂ и снятия фоторезиста использовались смеси кислот: азотная, серная, уксусная, ортофосфорная и органические растворители — 2-аминоэтанол, диметилформамид. Очистка технологической оснастки проводилась в азотной, соляной и плавиковой кислотах. Результаты гигиенической оценки загрязнения воздушной среды при выполнении фотолитографии и химической обработки представлены в таблице.

В результате проведенных исследований установлено, что содержание исследуемых веществ в зоне дыхания операторов ПФЛ и химической обработки на различных этапах технологического процесса во всех отобранных пробах не превышает соответствующих предельно допустимых концентраций. Это обусловлено как небольшими количествами применяемых химических веществ, так и эффективно работающей системой вентиляции.

Таким образом, гигиеническими особенностями производства ИМС являются: контакт с химическими соеди-

нениями, обладающими высокой токсичностью при выполнении большинства операций вручную, значительная продолжительность точных зрительных работ с применением оптической техники. Наиболее неблагоприятные условия труда формируются у работающих в профессии оператора ПФЛ, ведущими гигиеническими факторами являются длительное ограничение общей двигательной активности в фиксированном положении сидя и нагрузка на зрительный анализатор при работе с микроскопом. Такое сочетание факторов трудового процесса при выполнении прецизионных зрительных работ связано с риском нарушений зрения, заболеваний опорно-двигательного аппарата, сердечно-сосудистых заболеваний, гормональных и иммунных нарушений [11].

Существующие организационные и экономические ограничения не позволяют осуществить комплексную автоматизацию технологических и контрольно-измерительных операций на изучаемых производствах ИМС. В этих условиях для минимизации профессионального риска для здоровья работающих профилактические мероприятия должны быть направлены на организацию рационального внутрисменного режима труда и отдыха, использование комплексов упражнений для глаз, методов психофизиологической разгрузки.

Выводы:

1. Установлено, что приоритетными факторами профессионального риска для здоровья работающих в производстве интегральных микросхем является нагрузка на опорно-двигательный аппарат в сочетании с напряжением зрения.

2. Значительная доля трудовых операций выполняется вручную. При невозможности полной автоматизации технологических процессов на изучаемых предприятиях профилактические мероприятия должны быть направлены на организацию рационального режима труда, обеспечивающего снятие напряжения зрения и опорно-двигательного аппарата.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Государственная программа Российской Федерации «Развитие электронной и радиоэлектронной промышленности на 2013–2025 годы» Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 15.12.2012 г. № 2396-р.
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» 1–6 октября 2018 г. Техносфера. М.; 2018: 24–8.
3. Matteo Meneghini H Amano, Y Baines, E Beam, M Borgia, T Bouchet, PR Chalker, M Charles et al. The 2018 GaN power electronics roadmap. *Journal of Physics D: Applied Physics*. 51 (16): 163001.
4. 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.
5. Дубейковская Л.С., Фролова Н.М., Салангина Л.И. Кирьянова М.Н., Сладкова Ю.Н. Гигиена труда и здоровье работающих в приборостроении. *Мед. труда и пром. экол.* 2001; 10:3–7.
6. Фролова Н.М. Оценка профессионального риска работающих женщин в радиоэлектронном приборостроении. *Охрана труда и техника безопасности на промышленных предприятиях*. 2013; 3: 17–9.
7. Кирьянова М.Н., Маркова О.А., Иванова Е.В. «Гигиеническая оценка условий труда при производстве радиоэлектронных компонентов». *Гигиена и санитария*. 2018; 12: 1235–8.

8. Мельцер А.В., Никонов В.А., Мозжухина Н.А. Идентификация опасности при напряженных зрительных работах. В сборнике: Актуальные проблемы безопасности и оценки риска здоровью населения при воздействии факторов среды обитания. Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием под ред. Профессора А.Ю. Поповой, академика РАН Н.В. Зайцевой; 2014: 450–5.

9. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда. Руководство Р 2.2.2006–05. СПб: ЦОТБСППО; 2005.

10. Крупкин Г.Я., Иванова Е.В., Родригес Х.Л. Воздушный режим зданий с прецизионно-стерильными технологиями. *Мед. труда и пром. экол.* 2003; 8: 17–21.

11. Сорокин Г.А. Утомление и профессиональный риск. Издательство СПб Политехнического университета. СПб.; 2008.

REFERENCES

1. State program of Russian Federation «Development of electronic and radioelectronic industry for 2013–2025», approved by the decree of the Government of Russian Federation № 2396-p of December 15, 2012. (in Russian).
2. Shpak V.V. Microelectronic industry — the basis of Russia's sovereignty. Proceedings of the 4-th International conference «Electronic component base and microelectronic modules». International Forum «Microelectronics–2018» October 1–6, 2018. Tekhnosfera. Moscow; 2018: 24–8 (in Russian).
3. Matteo Meneghini H Amano, Y Baines, E Beam, M Borgia, T Bouchet, PR Chalker, M Charles et al. The 2018 GaN power electronics roadmap. *Journal of Physics D: Applied Physics*. 51 (16): 163001.
4. Trofimov V.A., Stepanov V.V., Fedoseeva N.M., Lugovskii G.A. Hygienic aspects of working conditions in microelectronic equipment production. In: *Occupational health issues in radioelectronic industry*. M. 4 1979: 8–15.
5. Dubeikovskaya L.S., Frolova N.M., Salangina L.I., Kiryanova M.N., Sladkova Yu.N. Occupational health in instrument-making engineering workers. *Med. truda i prom. ekol.* 2001; 10: 3–7 (in Russian).
6. Frolova N.M. Occupational health risk assessment for female workers of radioelectronic equipment production. *Okhrana truda i tekhnika bezopasnosti na promyshlennykh predpriyatiyakh*. 2013; 3: 17–9 (in Russian).
7. Kir'yanova M.N., Markova O.L., Ivanova E.V. Hygienic assessment of working conditions in radioelectronic component production. *Gigiena i sanitariya*. 2018; 12: 1235–8. (in Russian).
8. Mel'tser A.V., Nikonov V.A., Mozhukhina N.A. Hazard Identification in Strained Visual jobs. In collected works: Relevant problems of safety and health risk assessment for population exposed to environmental factors. Materials of the All-Russian scientific-practical conference with international participation. Ed.by Professor A.Yu. Popova, academician of RASci N.V. Zaitseva. 2014: 450–5 (in Russian).
9. Guidelines on hygienic assessment of working environment factors and working process. Criteria and classification of working conditions. Guidelines Р 2.2.2006–05. SPb.: COTBSPPO; 2005 (in Russian).
10. Krupkin G.Ya., Ivanova E.V., Rodrigues Kh.L. Air regime of buildings with precision sterile technologies. *Med. truda i prom. ekol.* 2003; 8: 17–21. (in Russian).
11. Sorokin G.A. Fatigue and occupational risks. Publishing House of SPb Polytechnical University. SPb.; 2008 (in Russian).

Дата поступления / Received: 31.05.2019

Дата принятия к печати / Accepted: 30.07.2019

Дата публикации / Published: 26.08.2019