

Ильницкая А.В., Луценко Л.А., Егорова А.М., Преображенская Е.А., Федина И.Н.

**ГИГИЕНИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ РИСКА ЗДОРОВЬЮ РАБОТНИКОВ
ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЫ**

ФБУН «Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора,
141014, г. Мытищи, Московская область

Проведена гигиеническая оценка условий труда и состояния здоровья персонала предприятий, на которых применяется низкотемпературная плазма. Работающие на предприятии подвергаются воздействию комплекса вредных факторов: высокодисперсный аэрозоль, шум, электромагнитные поля. Установлены изменения со стороны вегетативной нервной системы, слухового и вестибулярного анализаторов, слизистой оболочки верхних дыхательных путей.

Ключевые слова: гигиена труда; низкотемпературная плазма; факторы риска здоровью работников; высокодисперсный аэрозоль.

Для цитирования: Ильницкая А.В., Луценко Л.А., Егорова А.М., Преображенская Е.А., Федина И.Н. Гигиенические факторы риска здоровью работников при использовании низкотемпературной плазмы. *Здравоохранение Российской Федерации*. 2017; 61(4): 191—195. DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0044-197X-2017-61-4-191-195>

Il'nitskaya A.V., Lutsenko L.A., Egorova A.M., Preobrazhenskaya E.A., Fedina I.N.

**THE HYGIENIC RISK FACTORS TO HEALTH OF WORKERS UNDER APPLICATION
OF LOW-TEMPERATURE PLASMA**

The F.F. Erisman Federal Research Center of Hygiene, Mytishchi,
Moscow region, 141000, Russian Federation

The hygienic evaluation was implemented concerning labor conditions and health of personnel of enterprises applying low-temperature plasma. The workers of enterprises are subjected to impact of complex of harmful factors: highly disperse aerosol, noise, electromagnetic fields. The alterations are established concerning vegetative nervous system, auditory and vestibular analyzers, mucous membrane of high respiratory tracts.

К е у w o r d s: occupational hygiene; low-temperature plasma; risk factors.

For citation: Il'nitskaya A.V., Lutsenko L.A., Egorova A.M., Preobrazhenskaya E.A., Fedina I.N. The hygienic risk factors to health of workers under application of low-temperature plasma. *Zdravookhranenie Rossiiskoi Federatsii (Health Care of the Russian Federation, Russian journal)*. 2017; 61 (4): 191—195. (In Russ.).

DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0044-197X-2017-61-4-191-195>

For correspondence: Irina N. Fedina, doctor of medical sciences, professor, head of department of coordination and analysis the F.F. Erisman Federal Research Center of Hygiene, Mytishchi, Moscow region, 141000, Russian Federation. E-mail: infed@yandex.ru

Information about authors :

Il'nitskaya A.V., [http:// orcid.org/0000-0002-1540-9189](http://orcid.org/0000-0002-1540-9189)

Lutsenko L.A., <http://orcid.org/0000-0003-3859-9189>

Egorova A.M., <http://orcid.org/0000-0002-7929-9441>

Preobrazhenskaya E.A., <http://orcid.org/0000-0003-1941-0491>

Fedina I.N., <http:// orcid.org/0000-0001-6394-2220>

Acknowledgments. The study had no sponsorship.

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

Received 26 February 2017

Accepted 14 March 2017

Проблема обеспечения безопасных условий труда и защиты здоровья работников от воздействия вредных производственных факторов особенно актуальна при внедрении новых технологических процессов и оборудования, применения нанотехнологий [1].

Плазменные технологии, ускоренное развитие которых в 80—90-х годах XX века обеспечило опережающее развитие космического машиностроения, порошковой металлургии, электроники, и сегодня востребованы многими отраслями народного хозяйства. Поэтому важна актуализация

результатов клинико-гигиенической оценки технологий применения низкотемпературной плазмы, реализованной на стадии опытных промышленных установок. Результаты этих исследований могут ориентировать на выбор более безопасного оборудования, обоснования мер защиты здоровья работников, занятых в современных перспективных технологиях.

Материал и методы

Гигиенические исследования условий труда и характера трудовых операций выполнены на предприятиях металлургической промышленности и машиностроения в 1986—2009 гг. на 42 плазменных участках: плазменное напыление, резка, плазменно-механическая обработка, наплавка, плазменно-химическая технология.

Методы гигиенической оценки условий труда включали: изучение уровня и спектров шума, ультразвука, концентраций взвешенной пыли и вредных газов, анализ дисперсного состава аэрозоля с помощью электронного микроскопа, фазовый рентгеновский анализ аэрозолей, оценку адсорбционной способности аэрозолей по адсорбции аргона методом Брунауэрра—Эммета (БЭТ). Содержание никеля, хрома, марганца определяли атомно-абсорбционным и фотоколориметрическими методами. Определяли интегральный уровень ультрафиолетового излучения. Концентрацию озона оценивали путем поглощения его раствором йодистого калия.

Изучено состояние здоровья 678 работников мужчин в возрасте 19—45 лет (в том числе с применением методов функциональной диагностики в условиях поликлиники и стационара) методами осциллографии, аудиометрии, вестибулографии и др. С учетом особенностей обслуживаемого технологического процесса работники были разделены на 3 группы: операторы, занятые плазменным напылением (1-я группа), резкой (2-я группа), наплавкой (3-я группа); стаж работы до 5 лет (включительно) и 6—10 лет. Контрольную группу составили 108 слесарей-инструментальщиков контрольно-измерительных приборов, сопоставимые по возрасту и стажу основным группам.

Сочетанное действие пылегазовых смесей изучено в подострых и хронических опытах на белых лабораторных крысах.

Результаты исследований статистически обработаны с использованием пакета программ Microsoft. Было проведено определение средних арифметических значений (M), стандартных ошибок средних арифметических (m), оценки значимости различий (χ^2 , отношение шансов, t -критерий Стьюдента).

Результаты

Исследования показали, что ведущими неблагоприятными факторами при технологиях с приме-

нением низкотемпературной плазмы являются интенсивный шум и токсичные пылегазовые смеси, включающие озон, окислы азота и высокодисперсный аэрозоль, состоящий из оплавленных частиц исходных порошков и конденсата паров металлов и их соединений. Особенностью широкополосного шума плазмотронов является преобладание максимума звуковой энергии в области высоких частот, включая ультразвуковой диапазон спектра. Также регистрируется электромагнитное излучение ультрафиолетового, инфракрасного и светового диапазонов спектра. Имеет место ионизация воздуха рабочей зоны.

Гигиенические характеристики производственных факторов свидетельствуют о наиболее высоких уровнях звука при ручном (125—130 дБА) и механизированном напылении (120—124 дБА), в отдельных случаях при резке (95—120 дБА) на установках типа УПУ и АПУ (на расстоянии 0,5 м от плазмотрона) и минимальных уровнях звука при наплавке (55—60 дБА). В группах наблюдения эквивалентные уровни звука (при ПДУ = 80 дБА) у работников 1-й группы составляли 110—115 дБА, 2-й и 3-й группы — соответственно 90—103 и 70—80 дБА.

Существенная специфика характерна для состава и свойств пылегазовых композиций, причиной образования которых служит тепловое и физико-химическое взаимодействие реакционных частиц плазмы с обрабатываемым материалом и окружающим воздухом. При напылении, наплавке и плазменно-механической обработке ввиду неоднородности температур в плазменной струе не происходит нагрева вещества, достаточного для его испарения, поэтому образуются лишь оплавленные сферические частицы. При нагревании обрабатываемого материала до испарения (плазменная резка; плазменно-химическая технология) в воздух рабочей зоны из-за конденсации паров и последующей коагуляции частиц поступает аэрозоль чрезмерно высокой дисперсности (высокая удельная поверхность и сорбционная способность по отношению к газам). Удельная поверхность аэрозоля двуокиси циркония составила 3,37 м²/г, у аэрозоля никеля — 5,2 м²/г. По результатам электронной микроскопии аэрозоль, образующийся при плазменной обработке металлов, представлен частицами, более 80% которых имеет размер до 1 мкм.

Согласно лазерной масс-спектрометрии, структуру твердой фазы аэрозолей составляют до 20 элементов при преобладании доли железа в составе сплава 14X21M, сормайта, сплава 9X2MФ (соответственно 80,5, 68,1 и 47,6%); хрома (1,9, 13,9, 26,7%). Наиболее сложный состав имеют аэрозоли, образующиеся при обработке легированных сталей и сплавов на основе никеля и хрома: они содержат высокотоксичные соединения трех- и шестивалентного хрома, закиси железа, никеля, окиси меди и цинка.

Наиболее высокое содержание газов в воздухе рабочей зоны характерно для плазменной резки, наплавки и плазменно-химической технологии. Газовая часть аэродисперсной системы представлена постоянно образующимися в струе плазмы озоном и окислами азота. Озон в воздухе образуется за счет ионизирующего эффекта ультрафиолетового излучения. При плазменной наплавке, ручной плазменной резке высоколегированных сталей, плазменно-химической технологии средние концентрации озона составили соответственно $0,76 \pm 0,02$, $0,75 \pm 0,08$; $0,36 \pm 0,08$ мг/м³. Концентрация озона при резке и наплавке колебалась от 0,8 до 7,0 ПДК, при напылении — была близка к ПДК. Содержание окислов азота во всех группах от 0,3 до 2,0 ПДК.

В целом наиболее неблагоприятные условия труда отмечались при напылении (1-я группа), наименее вредные — при закрытом наплавке (3-я группа).

В экспериментах на животных обнаружены сдвиги в белковом обмене, обмене ацетилхолина, фермента лактатдегидрогеназы, которые явились проявлением общей адаптационной реакции организма.

Результаты оценки состояния здоровья работников свидетельствуют о развитии изменений преимущественно со стороны слизистой оболочки верхних дыхательных путей, слухового и вестибулярного анализаторов, протекающих на фоне изменений вегетативной нервной системы, сдвигов спектров адаптационных реакций организма по методике Л.Х. Гаркави [2].

Частота патологических изменений со стороны верхних дыхательных путей достоверно возрастала с увеличением стажа работы во всех профессиональных группах: в 1-й с 51,4 до 71,1%, во 2-й с 28,1 до 41,1%, в 3-й с 14,2 до 35,7% ($p < 0,05$), в среднем составляя соответственно 61,6; 35,5 и 25,0%.

Наиболее часто патологический процесс локализовался в слизистой оболочке полости носа и глотки, причем значительно чаще, чем в контрольной группе ($p < 0,05$). При этом у работников 1-й и 2-й групп преобладали комбинированные поражения полости носа и глотки (соответственно 29,6 и 12,5% против 5,6% в контроле), тогда как для работников 3-й группы характерны изолированные формы поражения слизистой оболочки полости носа, которые отмечались у 17,8%. С увеличением стажа удельный вес катаральных изменений существенно снижался, но значительно возрастала частота субатрофических изменений, которая достигала у металлургов 60,3%, резчиков — 27,1%, наплавщиков — 24,9%. У значительного числа обследованных ранним признаком изменений слизистой оболочки верхних дыхательных путей было замедление транспортной функции мерцательного эпителия.

Риноцитологическое исследование подтвердило выявленные закономерности формирования патологического процесса в верхнем отделе респираторного тракта. По мере увеличения стажа работы отмечалось нарастание процесса десквамации клеток призматического эпителия, числа их дегенеративно-измененных форм и метаплазии в многослойный плоский эпителий. Полученные данные отражали неспецифические изменения слизистой оболочки верхних дыхательных путей, особенностью которых является преобладание изменений субатрофического характера.

У работников 1-й и 2-й групп, подвергавшихся воздействию более интенсивного шума, распространенным видом субъективных расстройств было снижение остроты слуха и шум в ушах, причем частота их достоверно возрастала с увеличением стажа работы. Анализ аудиометрических данных с высокой степенью достоверности ($p < 0,01$) показал, что возникающие у работников признаки воздействия шума медленно прогрессируют с увеличением стажа, постепенно распространяясь на соседние высокие частоты, и гораздо реже — на тоны речевого диапазона (преимущественно 2000 Гц). В ряде случаев у лиц со стажем работы более 10 лет это приводит к развитию двусторонней нейросенсорной тугоухости профессиональной этиологии (соответственно 2,5 и 5,5% случаев).

Обращает на себя внимание высокая частота признаков угнетения возбудимости вестибулярного анализатора (по длительности нистагма, его амплитуде и частоте), что позволяет предположить преобладание тормозных процессов в области ствола мозга и тесно связанной с ней ретикулярной формации мозга [3]. Не исключено, что данные изменения могут быть своеобразным ответом на специфику сочетанного воздействия шума и плазменного аэрозоля, среди субмикронных частиц которого, вероятно, преобладают наночастицы с преимущественным первичным отложением в носоглоточной области дыхательного тракта и возможностью транслокации по обонятельным нервам в мозг [4].

Помимо рассмотренных изменений в ЛОР-органах, выявлялись функциональные расстройства в деятельности вегетативной нервной и сердечно-сосудистой системы (вегетососудистая дистония, астеновегетативные синдромы), отражающие процессы неспецифических ответных реакций организма на действие вредных факторов рабочей среды и трудового процесса. Они имели достаточно стойкий характер и отражали напряженность адаптационных процессов, происходящих в организме работающих. С увеличением стажа работы уменьшалось относительное число реакций тренировки и зон спокойной активности и возрастало число зон повышенной активности, появлялись реакции типа «хронический стресс» (по методике Гаркави Л.Х.).

Обсуждение

Полученные результаты исследований подтверждаются литературными данными [5—8], согласно которым физические процессы взаимодействия плазмы с окружающим воздухом и применяемыми материалами обуславливают качественные и количественные особенности вредных факторов, формирующих неблагоприятные условия труда операторов, занятых обслуживанием плазменных установок, при их сочетании с нервно-эмоциональным характером трудовых операций.

Нами отмечено, что параметры гигиенических факторов на рабочем месте и условия их воздействия на персонал колеблются в зависимости от технологии, степени автоматизации управления плазменными установками, эффективности санитарно-технических решений и средств индивидуальной и коллективной защиты, их способности ограничивать неблагоприятное воздействие вредного фактора. Имеют значение мощность плазматронов, стабильность работы установки, состав и свойства обрабатываемых материалов.

Тепловое взаимодействие плазмы и обрабатываемого материала может приводить к образованию субмикронных и наночастиц высокой степени чистоты в узком диапазоне гранулометрического состава со сферической формой частиц.

Распределение температур в плазменной струе характеризуется неоднородностью. При напылении, наплавке, плазменно-механической обработке образуются оплавленные сферические частицы разных размеров с небольшим числом пор и с невысокой сорбционной способностью. При плазменной резке в воздух рабочей зоны поступает высокодисперсный аэрозоль с высокой сорбционной способностью.

По частоте и степени выраженности эффектов преобладали изменения со стороны слизистой оболочки верхнего отдела респираторного тракта, которые отражали неблагоприятное воздействие пылегазовых смесей, входящих в состав комплекса факторов, сопутствующих плазменным процессам, что подтверждено результатами дисперсионного анализа. Можно полагать, что пусковым механизмом расстройств адаптации и формирования патологии у плазменщиков является активная реакция верхних дыхательных путей на токсическое воздействие пылегазовых композиций; ее взаимосвязь с обонятельным анализатором и периферическими рецепторами, обладающими высокой чувствительностью к химическим веществам любой природы и обширными связями с гипоталамусом и другими отделами ЦНС.

Нельзя исключить особую роль наночастиц в развитии неспецифических патологических изменений в различных органах и системах организма человека [9].

Заключение

Плазменно-струйные процессы при их технологическом применении являются источниками ряда физических и химических факторов, которые в свете выявленных закономерностей сочетанного и комбинированного действия вредных веществ в виде высокодисперсных аэрозолей и физических факторов обуславливают достаточно раннее развитие неспецифических патологических изменений в различных органах и системах организма человека.

Результаты медицинского обследования работающих, обслуживающих различные типы плазменных установок, показали наличие широкого спектра изменений в основном неспецифического характера в верхнем отделе респираторного тракта, признаков угнетения возбудимости вестибулярного анализатора, функциональных расстройств в деятельности вегетативной нервной и сердечно-сосудистой систем, отражающих умеренно выраженную напряженность адаптационных процессов в организме работающих.

Приведенные данные свидетельствуют о необходимости совершенствования методов идентификации плазменных наночастиц в воздухе рабочей зоны и окружающей среды.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Потапов А.И., Тулакин А.В., Луценко Л.А., Егорова А.М., Гвоздева Л.Л. Международные стандарты безопасности при профессиональном воздействии наночастиц и гармонизация гигиенических подходов. *Здоровье населения и среда обитания*. 2011; (5): 21—3.
2. Гаркави Л.Х., Квакина Е.Б., Уколова М.А. *Адаптационные реакции и резистентность организма*. Ростов: Ростовский университет; 1979.
3. Синева Е.Л. Закономерности ответных реакций организма у работающих с плазменными технологиями. В кн.: *Очерки учеников академика РАМН А.И. Потапова*. М.; 2006: 212—33.
4. Oberdorster G., Stone V., Donaldson K. Toxicology of nanoparticles: a historical perspective. *Nanotoxicology*. 2007; 1(1): 2—25.
5. Wang J., Hoang T., Floyd E.L., Regens J.L. Characterization of Particulate Fume and Oxides Emission from Stainless Steel Plasma Cutting. *Ann. Work Expo Health*. 2017; Jan 9.
6. Matczak W., Gromiec J. Occupational exposure to gases emitted in mild and stainless steel welding. *Med. Pr.* 2001; 52(6): 423—36.
7. Van der Wal J.F. Further studies on the exposure of welders to fumes, chromium, nickel and gases in Dutch industries: plasma welding and cutting of stainless steel. *Ann. Occup. Hyg.* 1986; 30(2): 153—61.
8. Petersen R., Mikkelsen S., Thomsen O.F. Chronic interstitial nephropathy after plasma cutting in stainless steel. *Occup. Environ. Med.* 1994; 51(4): 259—61.

9. Ильницкая А.В., Синева Е.Л. Особенности влияния на здоровье аэрозолей, образующихся при плазмохимических и плазмодуговых технологиях. В кн.: *Сборник трудов VII Международного симпозиума по теоретической и прикладной плазмохимии*. Иваново: Ивановский гос. химико-технологический университет. 2014; 190—2.

REFERENCES

1. Potapov A.I., Tulakin A.V., Lutsenko L.A., Egorova A.M., Gvozdeva L.L. International safety standards for occupational exposure to nanoparticles and harmonization of hygiene approaches. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya*. 2011; (5): 21—3. (in Russian)
2. Garkavi L.Kh., Kvakina E.B., Ukolova M.A. *Adaptable reactions and resistance*. [Adaptatsionnye reaktsii i rezistentnost' organizma]. Rostov; 1979. (in Russian)
3. Sineva E.L. Patterns of responses of the body from working with plasma technology. *Essays Students Academician A.I. Potapov*. [Ocherki uchenikov akademika RAMN A.I. Potapova]. Moscow; 2006: 212—33. (in Russian)

4. Oberdorster G., Stone V., Donaldson K. Toxicology of nanoparticles: a historical perspective. *Nanotoxicologia*. 2007; 1(1): 2—25.
5. Wang J., Hoang T., Floyd E.L., Regens J.L. Characterization of Particulate Fume and Oxides Emission from Stainless Steel Plasma Cutting. *Ann. Work Expo Health*. 2017, Jan 9.
6. Matczak W., Gromiec J. Occupational exposure to gases emitted in mild and stainless steel welding. *Med. Pr.* 2001;52(6):423—36.
7. Van der Wal J.F. Further studies on the exposure of welders to fumes, chromium, nickel and gases in Dutch industries: plasma welding and cutting of stainless steel. *Ann. Occup. Hyg.* 1986; 30(2):153—61.
8. Petersen R., Mikkelsen S., Thomsen O.F. Chronic interstitial nephropathy after plasma cutting in stainless steel. *Occup. Environ. Med.* 1994; 51(4): 259—61.
9. Il'nitskaya A.W., Sineva E.L. Peculiarities of influence of aerosols forming at plasma chemical and plasma arc technologies on the health. In: *VII International Symposium on Theoretical and Applied Plasma Chemistry*. [Sbornik trudov VII Mezhdunarodnogo simpoziuma po teoreticheskoy i prikladnoy plazmokhimii]. Ivanovo; 2014: 190—2. (in Russian)

Поступила 26.02.17

Принята в печать 14.03.17