



Журнал медико-биологических исследований. 2023. Т. 11, № 4. С. 451–461.

Journal of Medical and Biological Research, 2023, vol. 11, no. 4, pp. 451–461.

Научная статья

УДК 613.633:629.5.081.2

DOI: 10.37482/2687-1491-Z163

Гигиеническая характеристика загрязнения воздуха рабочей зоны сварочного производства в судостроении (на примере верфей Санкт-Петербурга)

Максим Валерьевич Чащин^{*/**} ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6759-5481>

Антон Ильич Атабеков^{**} ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9735-5729>

Елена Анатольевна Кайк^{**} ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7971-5866>

Андрей Борисович Гудков^{***} ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5923-0941>

Ольга Николаевна Попова^{***} ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0135-4594>

^{*}Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»
(Москва)

^{**}Северо-Западный государственный медицинский университет
имени И.И. Мечникова
(Санкт-Петербург)

^{***}Северный государственный медицинский университет
(г. Архангельск)

Аннотация. Лабораторно-инструментальные исследования загрязнения воздуха на судостроительных предприятиях показали, что частицы пыли сварочного аэрозоля состоят как из слаборастворимых соединений Al, Fe, Ti и Pb, так и из хорошо растворимых в искусственном растворе соединений Co, Cr, Cu, Mn и V, а их соотношение отличается в зависимости от способа сварки. **Цель** данной работы – гигиеническая оценка загрязнения воздуха рабочей зоны судостроительных верфей с учетом анализа растворимости соединений металлов, содержащихся в сварочном аэрозоле. **Материалы и методы.** Объектом исследования стали сварочные производства двух судостроительных верфей Санкт-Петербурга. Отбор 97 проб воздуха из-под защитного лицевого щитка сварщика выполнен с помощью мембранных фильтров с размером пор 5,0 мкм и персональных насосов фирмы SKC Sidekick. Анализ растворимых и нерастворимых химических соединений сварочного аэрозоля в искусственном растворе проведен с помощью масс-спектрометра с индуктивно-связанной плазмой (Thermo Scientific Element XR) и оптико-эмиссионного спектрометра с индуктивно-связанной плазмой (Perkin Elmer Optima 7300V). **Результаты.** Установлены значимые различия между предприятиями по среднесменным концентрациям химических веществ в воздухе сварочных производств: в 19,6 раза – по марганцу (181,04 и 3563,80 мкг/м³) и в 1,5 раза – по железу (1291,71 и 862,49 мкг/м³). В сварочных производствах исследуемых верфей зарегистрирован

Ответственный за переписку: Чащин Максим Валерьевич, адрес: 191015, Санкт-Петербург, ул. Кирочная, д. 41; e-mail: maksim.chaschin@szgmu.ru

широкий диапазон среднесменных концентраций сварочного аэрозоля сложного химического состава, при этом имеются значимые гигиенические различия результатов замеров на разных предприятиях. Одной из важных изучаемых характеристик сварочного аэрозоля является растворимость содержащихся в нем элементов, определяющая способность токсических веществ проникать через ткани легкого в кровь, вызывая острые или хронические нарушения здоровья. Таким образом, гигиеническая оценка загрязнения воздуха рабочей зоны сварочного производства в судостроении должна проводиться персонализированно и учитывать смену применяемых способов сварки, типов сварочных материалов и др.

Ключевые слова: сварочный аэрозоль, гигиеническая оценка условий труда, вредные и опасные производственные факторы, растворимость химических веществ, судостроение.

Благодарности. Коллектив авторов выражает особую благодарность и признательность сотрудникам Национального института профессионального здоровья (STAMI, Осло, Норвегия) Дагу Эллингсену (Dag G. Ellingsen) и Ингвару Томассену (Yngvar Thomassen), а также коллективу ФГБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья» (Санкт-Петербург, Россия) за помощь в проведении исследования.

Для цитирования: Чашин М.В., Атабеков А.И., Кайк Е.А., Гудков А.Б., Попова О.Н. Гигиеническая характеристика загрязнения воздуха рабочей зоны сварочного производства в судостроении (на примере верфей Санкт-Петербурга) // Журн. мед.-биол. исследований. 2023. Т. 11, № 4. С. 451–461. <https://doi.org/10.37482/2687-1491-Z163>

Original article

Hygienic Characteristics of the Air Pollution in the Welding Working Area in Shipbuilding (the Case of St. Petersburg Shipyards)

Maksim V. Chashchin^{*/**} ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6759-5481>

Anton I. Atabekov^{**} ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9735-5729>

Elena A. Kayk^{**} ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7971-5866>

Andrey B. Gudkov^{***} ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5923-0941>

Ol'ga N. Popova^{***} ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0135-4594>

^{*}National Research University Higher School of Economics
(Moscow, Russian Federation)

^{**}North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov
(St. Petersburg, Russian Federation)

^{***}Northern State Medical University
(Arkhangelsk, Russian Federation)

Abstract. Laboratory tests of air pollution at shipbuilding enterprises have shown that dust particles of welding aerosol consist of both poorly soluble Al, Fe, Ti and Pb compounds and Co, Cr, Cu, Mn and V compounds that are highly soluble in an artificial solution, while their ratio varies depending on the welding method.

Corresponding author: Maksim Chashchin, address: ul. Kirochnaya 41, St. Petersburg, 191015, Russian Federation; e-mail: maksim.chashchin@szgmu.ru

The **purpose** of this article was to perform a hygiene assessment of the air pollution in the shipyards' working areas, taking into account solubility test results for the metal compounds contained in the welding aerosol. **Materials and methods.** The object of the study were the welding processes of two shipyards in St. Petersburg, Russia. We collected 97 air samples from under the welder's face shield using 5.0 µm membrane filters and SKC Sidekick personal pumps. The soluble and insoluble chemical compounds of the welding aerosol in the artificial solution were analysed using an inductively coupled plasma mass spectrometer (Thermo Scientific Element XR) and an inductively coupled plasma optical emission spectrometer (Perkin Elmer Optima 7300V). **Results.** Significant differences were established between the enterprises in the shift-weighted average concentrations of chemicals in the air of welding areas: by the factor of 19.6 for manganese (181.04 and 3563.80 µg/m³) and 1.5 for iron (1291.71 and 862.49 µg/m³). We recorded a wide range of shift-weighted average concentrations of welding aerosols with a complex chemical composition in the welding working areas. However, there were significant hygienic differences in the test results between the shipyards. One of the important characteristics of welding aerosol studied here is the solubility of its elements, which determines the ability of toxic substances to penetrate through the lung tissue into the bloodstream, causing acute or chronic health effects. Thus, hygiene assessments of the air pollution in the working areas in shipbuilding should be based on a personalized approach and take into account changes in the welding methods applied, types of welding materials, etc.

Keywords: *welding aerosol, hygienic assessment of working conditions, harmful and hazardous occupational factors, chemical solubility, shipbuilding.*

Acknowledgments. The authors would like to express their appreciation and gratitude to Dag G. Ellingsen and Yngvar Thomassen at the National Institute of Occupational Health (STAMI, Oslo, Norway) as well as to the staff of the Northwest Public Health Research Center (St. Petersburg, Russia) for their assistance in the study.

For citation: Chashchin M.V., Atabekov A.I., Kayk E.A., Gudkov A.B., Popova O.N. Hygienic Characteristics of the Air Pollution in the Welding Working Area in Shipbuilding (the Case of St. Petersburg Shipyards). *Journal of Medical and Biological Research*, 2023, vol. 11, no. 4, pp. 451–461. <https://doi.org/10.37482/2687-1491-Z163>

Судостроительная промышленность в значительной мере обеспечивает реализацию национальных интересов России во многих сферах экономики: в энергетике, транспорте, внешней торговле и оборонно-промышленном комплексе. Новая Морская доктрина Российской Федерации определяет развитие морской деятельности и морского потенциала, что является одним из решающих условий устойчивого социально-экономического развития России в XXI веке¹.

Особое место в отечественном строительстве судов занимают верфи Санкт-Петербурга, продукция этой индустрии составляет более 1/2 всей продукции оборонно-промышленного комплекса и около 20 % от всего промышленного производства города. На предприятиях «Объединенной судостроительной корпорации» трудятся более 77 тыс. чел., из которых более 3 тыс. чел. заняты в сварочном производстве².

Ручная, полуавтоматическая и автоматическая сварка до сих пор остается основной

¹Об утверждении Морской доктрины Российской Федерации: указ Президента РФ от 31 июля 2022 г. № 512. URL: <https://base.garant.ru/405077499/> (дата обращения: 22.11.2023).

²Стратегия развития Открытого акционерного общества «Объединенная судостроительная корпорация» на период до 2030 года: утв. протоколом заседания Совета директоров от 30 октября 2013 года № 106СД-П. URL: https://portnews.ru/upload/basefiles/1028_strategy_2013.pdf (дата обращения: 28.03.2023).

технологией сборки судов, надводных и подводных кораблей, и, согласно обзору рынка труда, в судостроении профессия сварщика является наиболее массовой и востребованной [1–3]. В связи с этим актуальна проблема сохранения здоровья работников сварочного производства, а ее решение относится к числу приоритетных задач гигиены и медицины труда. Исследователи из Уфимского научно-исследовательского института медицины труда и экологии человека отмечают, что в комплексе превентивных мер особое место принадлежит лабораторно-инструментальному контролю загрязнения воздуха в месте сварочных работ [4]. В научной литературе сведений о характере загрязнения воздуха рабочей зоны, данных о реальных среднесменных концентрациях сварочного аэрозоля на отдельных судостроительных верфях недостаточно, что вызывает определенные трудности у врачей-гигиенистов и профпатологов как при оценке вклада периодов деятельности во вредных и опасных условиях на предыдущих местах работы при составлении санитарно-гигиенической характеристики условий труда, так и при проведении последующей экспертизы связи заболевания с профессией. Воздействие сварочного аэрозоля на организм человека может вызывать разнообразные нарушения здоровья, в т. ч. интоксикацию марганцем [5]. В ранее проведенных экспериментальных исследованиях получены убедительные доказательства токсичности растворимых соединений марганца [6, 7]. В связи с этим цель нашей работы – гигиеническая оценка загрязнения воздуха рабочей зоны судостроительных верфей с учетом анализа растворимости соединений металлов, содержащихся в сварочном аэрозоле.

Материалы и методы. Объектом исследования стали сварочные производства двух судостроительных верфей Санкт-Петербурга, на которых был организован отбор 97 проб воздуха рабочей зоны. Процедура проводилась с помощью специальных аэрозольных пластиковых кассет (Merck KGaA, г. Дарм-

штадт, Германия), оснащенных мембранными фильтрами (SKC Ltd, Дорсет, Великобритания) из поливинилхлорида с размером пор 5,0 мкм, и персональных насосов фирмы SKC Sidekick (SKC Ltd, Дорсет, Великобритания). Отбор загрязненного воздуха осуществлялся из зоны дыхания – из-под защитного лицевого щитка сварщика. Прокачивание воздуха через установленную систему производилось в течение всей рабочей смены со скоростью 2,0 л/мин. Пробы были отобраны во время применения ручной электродуговой сварки металлическим электродом с покрытием, автоматической и полуавтоматической сварки металлов в среде инертного газа. Основными свариваемыми материалами были легированная конструкционная сталь и легированные виды стали. В изучаемом сварочном производстве применялись 11 разных типов сварочных электродов. В большинстве из них содержание легирующих элементов было незначительным. Например, содержание марганца (Mn) составляло от 0,6 до 2,2 % в зависимости от типа электрода и его покрытия. Некоторые электроды содержали никель (Ni) и хром (Cr) в количестве от 9,8 до 19,0 %.

Для решения задачи по оценке степени растворимости химических веществ, содержащихся в сварочном аэрозоле, проводились пробоподготовка и эксперименты по выщелачиванию, описанные ранее (с небольшими изменениями) [8]. Растворимые и нерастворимые соединения химических элементов сварочного аэрозоля в искусственном растворе (ИР), который по своим химическим характеристикам и биодоступности приближался к жидкости, получаемой при бронхоальвеолярном лаваже, определялись с помощью масс-спектрометра с индуктивно-связанной плазмой (Thermo Scientific Element XR) и оптико-эмиссионного спектрометра с индуктивно-связанной плазмой (Perkin Elmer Optima 7300V).

Поскольку значительная часть исследованных образцов имела концентрации хими-

ческих веществ ниже порога определения, статистический анализ растворимости проводился согласно рекомендациям D.R. Helsel, применяемым для обработки цензурированных данных [9]. При статистической обработке основное внимание уделялось оценке показателей растворимости в ИР, которые вычислялись как отношение массы растворимой фракции химического элемента к сумме масс растворимой и нерастворимой его фракций в ИР ($IP = M_p / M_p + M_{нер}$). Сводная статистика для всего набора данных, а также для подгруппы (установки и технологии сварки отдельно) рассчитывалась с применением методов непараметрического анализа, т. к. набор состоял из интервальных цензурированных данных. Для расчета и определения квантилей использовался алгоритм максимального правдоподобия (NPMLE) Тернбулла [10]. Возможное влияние способа сварки на растворимость химических соединений в ИР анализировалось путем двустороннего дисперсионного анализа (ANOVA) с применением рангов. В обоих случаях набор данных включал 97 проб, при этом из анализа были исключены образцы с неизвестными местами отбора (3 образца), а также образцы, полученные при смешанных видах сварки или при отсутствии сведений об используемой технологии сварки (5 образцов). Пробы были распределены в зависимости от места отбора образца (предприятия), а также от способа сварки. Поправка Бонферрони применялась для оценки значимости различий при парных сравнениях. Используемые ранги в двухфакторном дисперсионном анализе рассчитывались и проверялись с помощью теста Уилкоксона–Манна–Уитни.

Результаты. Производственная задача электросварщиков на судостроительных предприя-

тиях заключается в соединении деталей изготавливаемых изделий под действием температуры электрической дуги, включая наплавку металла или покрытие внутренних поверхностей деталей слоем особо прочной стали. В связи с тем, что большинство сварщиков трудятся в составе комплексной бригады, один и тот же работник может иметь дело как с ручной, так и с полуавтоматической сваркой. Хронометраж рабочего времени электросварщиков показал, что доля каждого из перечисленных способов в структуре занятости в различные смены колеблется в широком диапазоне. Например, в течение года от 14 до 15 % от общего объема работ занимает автоматическая сварка под флюсом, от 31 до 34 % – автоматическая наплавка под флюсом, от 10 до 14 % – ручная электродуговая сварка и от 7 до 23 % – ручная наплавка. Установлено, что интенсивность испарения металлического и шлакового расплавов, образующихся при плавлении электрода и основного металла, зависит от режима, технологии, состава электродного покрытия, основного и присадочного металлов, что хорошо согласуется с ранее проведенными исследованиями [11]. Из железомарганцевых расплавов при нагреве испаряется прежде всего марганец, причем этот процесс тем интенсивнее, чем выше содержание марганца в расплаве [12]. Результаты анализа проб воздуха рабочей зоны на судостроительных верфях Санкт-Петербурга показали, что при ручной сварке от 28,7 до 31,5 % проб характеризовались превышением предельно допустимой концентрации марганца ($ПДК = 0,2 \text{ мг/м}^3$, при содержании марганца в сварочном аэрозоле до 20 %), установленной санитарными правилами и нормами³, при полуавтоматической – от 57,4 до 61,5 %, при автоматической – от 5,5 до 7,9 % (табл. 1).

³СанПиН 1.2.3685–21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания: утв. постановлением Гл. гос. санитар. врача Рос. Федерации от 28 янв. 2021 г. № 2. URL: <https://fsvps.gov.ru/sites/default/files/npa-files/2021/01/28/sanpin1.2.3685-21.pdf> (дата обращения: 29.03.2023).

Таблица 1

Доля среднесменных концентраций марганца, превышающих предельно-допустимую концентрацию (ПДК), в воздухе рабочей зоны сварочных производств на судостроительных верфях Санкт-Петербурга
 Percentage of the shift-weighted average concentrations of manganese exceeding the permissible exposure limit in the air of the welding working areas at St. Petersburg shipyards

Сварка	Диапазон среднесменных концентраций, мг/м ³	Доля проб, превышающих ПДК (0,2 мг/м ³), %
Ручная	0,015–0,720	28,7–31,5
Полуавтоматическая	0,031–0,904	57,4–61,5
Автоматическая	0,003–0,265	5,5–7,9

Средние концентрации марганца составили 181,04 и 3563,80 мкг/м³ на верфях № 1 и 2 соответственно. Большие концентрации железа, наоборот, были зарегистрированы на предприятии № 1 по сравнению с предприятием № 2 – 1291,71 и 862,49 мкг/м³ соответственно. Сравнение полученных данных показало (табл. 2), что содержание Mn и Fe в воздухе сварочных производств отличалось между предприятиями в 19,6 и 1,5 раза соответственно (различия были статистически значимы по *U*-критерию Манна–Уитни).

Изучение растворимости химических элементов, загрязняющих воздух судостроительных цехов, выявило отсутствие однообразия структуры сварочного аэрозоля как на отдельных верфях, так и при разных способах сварки. Соединения Al, Fe, Ti и Pb продемонстрировали не только преобладание слаборастворимых форм в ИР, моделирующем состав смыва слизистой бронхов, но и статистически значимые различия соотношения растворимых и нерастворимых форм между представленными производствами и способами сварки.

Таблица 2

Сравнительный анализ среднесменных концентраций марганца и железа в воздухе рабочей зоны сварочных производств на судостроительных верфях Санкт-Петербурга
 Comparative analysis of the shift-weighted average concentrations of manganese and iron in the air of the welding working areas at St. Petersburg shipyards

Верфи (число проб)	Концентрация, мкг/м ³				
	<i>M</i>	<i>Me</i>	σ	Min	Max
<i>Марганец</i>					
1 (<i>n</i> = 40)	181,04	127,50	29,25	12,00	1131,00
2 (<i>n</i> = 57)	3563,80*	2923,00	396,80	119,00	11292,00
1 и 2 (<i>n</i> = 97)	2168,85	508,00	288,09	12,00	11292,00
<i>Железо</i>					
1 (<i>n</i> = 40)	1291,71	1198,00	100,97	377,00	3792,00
2 (<i>n</i> = 57)	862,49**	560,00	135,55	7,00	5105,00
1 и 2 (<i>n</i> = 97)	1039,49	917,00	92,04	7,00	5105,00

Примечание: *M* – среднее значение; *Me* – медиана; σ – среднеквадратичное отклонение; min, max – минимальное и максимальное значения соответственно; *, ** – установлены статистически значимые различия между верфями по *U*-критерию Манна–Уитни ($p < 0,001$ и $p < 0,05$ соответственно).

Соединения с такими элементами, как Cd, Mo, Ni, W и Zn, имели примерно одинаковую растворимость независимо от техники сварки и верфи. Все другие химические вещества, присутствующие

в сварочном аэрозоле, имели значительные различия в соотношении растворимых и нерастворимых форм соединений при сравнении различных сварочных производств (табл. 3).

Таблица 3

Соотношение растворимых и нерастворимых форм соединений химических элементов в сварочном аэрозоле на судостроительных верфях Санкт-Петербурга
Ratio of soluble and insoluble forms of chemical compounds in the welding aerosol at St. Petersburg shipyards

Элемент	Квантиль	Показатель растворимости	
		Верфь 1	Верфь 2
Al	0,1	0,002	0,001
	0,5	0,003	0,003
	0,9	0,020	0,010
Cd	0,1	0,113	0,133
	0,5	0,231	0,255
	0,9	0,378	0,540
Co	0,1	0,012	0,012
	0,5	0,033	0,043
	0,9	0,069	0,105
Cr	0,1	0,011	0,008
	0,5	0,033	0,022
	0,9	0,065	0,096
Cu	0,1	0,024	0,050
	0,5	0,242	0,185
	0,9	0,320	0,371
Fe	0,1	0,002	0,002
	0,5	0,007	0,009
	0,9	0,039	0,028
Mn	0,1	0,046	0,059
	0,5	0,134	0,178
	0,9	0,269	0,299
Mo	0,1	0,166	0,262
	0,5	0,308	0,582
	0,9	0,499	0,745
Ni	0,1	0,017	0,029
	0,5	0,034	0,043
	0,9	0,084	0,075
Pb	0,1	0,000	0,001
	0,5	0,001	0,001
	0,9	0,002	0,012
Ti	0,1	0,001	0,001
	0,5	0,001	0,001
	0,9	0,005	0,005
V	0,1	0,033	0,005
	0,5	0,073	0,043
	0,9	0,145	0,138
W	0,1	0,006	0,003
	0,5	0,048	0,013
	0,9	0,088	0,116
Zn	0,1	0,086	0,100
	0,5	0,238	0,186
	0,9	0,530	0,342

Установлено, что 90-й перцентиль (квантиль 0,9) соотношения растворимых и нерастворимых соединений марганца на изучаемых верфях соответствует сравниваемым показателям растворимости 0,269 и 0,299. Ранее проведенные исследования показали, что применяемая технология сварки практически не влияет на растворимость в ИР соединений таких элементов, как Al, Cd, Fe, Mo, Ni, Pb, Ti, W и Zn [13]; соответственно, можно предположить, что проникновение их в ткани легких и бронхов возможно только в виде твердой фракции сварочного аэрозоля. Напротив, более высокая степень растворимости соединений Co, Cr, Cu, Mn и V ассоциируется с тем или иным способом сварки. Например, соединения хрома в процессе полуавтоматической сварки в среде инертных газов присутствовали в воздухе в виде Cr (III), а при ручной сварке – в виде Cr (VI) [13]. Теоретическим обоснованием данного феномена является то, что такие хроматы, как K_2CrO_4 , $Na_2(CrO_4)_2$, более стабильны при высоких температурах, чем большинство других, что может объяснить значительное содержание Cr (VI) во флюсах при обработке легированных сталей. Аналогичным образом может быть представлен ванадий (V), который, согласно нашим данным, может выделяться в более низких степенях окисления при полуавтоматической сварке и в более высоких степенях окисления – при автоматической.

Обсуждение. С одной стороны, при составлении санитарно-гигиенической характеристики условий труда сравнение состава, характеристик и концентраций химических веществ в сварочном аэрозоле на двух судостроительных верфях с аналогичными производственными процессами не должно вызывать затруднений у врача-гигиениста, т. к. они находятся, на первый взгляд, в одном диапазоне, с небольшим разбросом доли проб, превышающих ПДК. С другой, выявленные нами значимые различия резуль-

татов лабораторно-инструментальных исследований доказывают оправданность проведения дополнительного отбора образцов воздуха рабочей зоны с помощью индивидуальных пробоотборников и персональной оценки экспозиции с учетом содержания растворимых соединений таких металлов, как Mn, Fe, Cr, Mo, V, W и др. Например, оценивая растворимость соединений марганца с позиций токсикокинетики, можно предположить, что сварочный аэрозоль, выделяющийся в процессе полуавтоматической сварки в среде защитного газа, представляет более высокий риск развития интоксикации у работника по сравнению с двумя другими способами сварки. В ранее опубликованных исследованиях было показано, что различные технологические параметры сварочных операций могут влиять на некоторые характеристики сварочного аэрозоля [13]. Однако анализу степени растворимости содержащихся в нем химических веществ с точки зрения гигиены и медицины труда уделяется недостаточно внимания. Настоящее исследование позволяет расширить подходы к изучению патофизиологического влияния производственных факторов, а также является научным обоснованием перехода к персонализированной медицине в практике врача-гигиениста, что соответствует направлению Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации⁴. Не вызывает сомнений необходимость дальнейших гигиенических исследований, включая оценку индивидуального уровня воздействия на организм сварщика сварочного аэрозоля на других производствах, особенно в свете применения новых технологий сварки и соединения композиционных материалов, основанием которых служит металлическая матрица с волокнистым или дисперсным упрочнением [14].

Таким образом, в сварочном производстве судостроения регистрируется широкий диапазон среднесменных концентраций сварочного аэрозоля сложного химического состава,

⁴О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации: указ Президента РФ от 1 дек. 2016 г. № 642 (ред. от 15.03.2021). URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_207967 (дата обращения: 03.04.2023).

имеющего значимые гигиенические различия при сравнении результатов лабораторно-инструментального контроля загрязнений воздуха рабочей зоны на разных предприятиях с аналогичными производственными процессами. Одной из важных изучаемых характеристик последнего является растворимость содержащихся в нем элементов, которая определяет способность токсических веществ проникать через ткани легкого в кровь, вызывая острые или хронические нарушения здоровья. В связи с этим гигиеническая оценка загрязнения воздуха рабочей зоны сварочного производства в судостроении должна проводиться

персонализированно, с учетом применяемых сварщиком в течение рабочей смены способов сварки, типов сварочных материалов, режимов сварки и др. Данная методика оценки особенно актуальна в случае, если при выяснении обстоятельств и причин возникновения профессионального заболевания установлен факт осуществления работником деятельности во вредных и опасных условиях труда на предыдущих местах работы и необходимо отразить вклад данных периодов работы в возникновение профессионального заболевания при составлении санитарно-гигиенической характеристики условий труда.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Вклад авторов: Чашин М.В. – разработка концепции статьи, редактирование окончательной версии текста, одобрение финальной версии перед публикацией; Атабеков А.И. – существенный вклад в написание текста статьи, оформление ссылок, списка литературы; Кайк Е.А. – подбор и анализ источников литературы, написание текста статьи; Гудков А.Б. – написание текста статьи, ответственность за целостность всех ее частей; Попова О.Н. – доработка рукописи, методологические аспекты.

Authors' contributions: M.V. Chashchin developed the concept of the study, edited the final version of the manuscript and approved it before the publication; A.I. Atabekov made a significant contribution to writing the text of the article as well as formatted citations and references; E.A. Kayk selected and analysed literature sources, participated in writing the text of the article; A.B. Gudkov participated in writing the text of the article and ensured the integrity of all its parts; O.N. Popova revised the manuscript and was responsible for the methodological aspects of the study.

Список литературы

1. Горбач В.Д. Сварочное производство в судостроении // Мир сварки. 2022. № 1(56). С. 12–14.
2. Обзор рынка труда в сфере судостроения: итоги первого квартала 2021 года. 6 мая 2021 г. URL: <https://spb.hh.ru/article/28489> (дата обращения: 28.03.2023).
3. Соколова Л.А., Попова О.Н., Калинина М.М., Богданов М.Ю., Кочешова Г.Ф., Гудков А.Б. Прогнозирование риска развития профессиональных заболеваний среди сборщиков корпусов металлических судов машиностроительного предприятия // Экология человека. 2015. № 1. С. 10–14.
4. Красовский В.О., Халфин Р.Р., Галиуллин А.Р. К поиску реальных концентраций аэрозоля, действующего на электросварщика // Современ. проблемы науки и образования. 2017. № 5. Ст. № 21.
5. Минакова П.С., Войцева А.С., Игнатова В.Р. Анализ вредных и опасных производственных факторов при ручной дуговой сварке на рабочем месте сварщика // Безопасность и охрана труда. 2020. № 4. С. 36–38.
6. Обламская И.С., Пестерева Н.С., Скоморохова Е.А., Карпенко М.Н. Признаки нейровоспаления у крыс с марганцевой токсической энцефалопатией // Мед. акад. журн. 2016. Т. 16, № 4. С. 32–33.

7. Ivleva I., Pestereva N., Zubov A., Karpenko M. Intranasal Exposure of Manganese Induces Neuroinflammation and Disrupts Dopamine Metabolism in the Striatum and Hippocampus // *Neurosci. Lett.* 2020. Vol. 738. Art. № 135344. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2020.135344>
8. Чашин М.В., Эллинген Д.Г., Чашин В.П., Кабушка Я.С., Томассен И., Берлингер Б., Баст-Петтерсен Р., Кусраева З.С., Федоров В.Н., Хлябова П.М., Колесникова Т.А. Оценка экспозиции к соединениям марганца и железа у сварщиков // *Здоровье населения и среда обитания – ЗНиСО.* 2014. № 10(259). С. 28–31.
9. Helsel D.R. *Statistics for Censored Environmental Data Using Minitab® and R.* Hoboken, 2012. 324 p. <https://doi.org/10.1002/9781118162729>
10. Turnbull B.W. The Empirical Distribution Function with Arbitrarily Grouped, Censored and Truncated Data // *J. R. Stat. Soc. B.* 1976. Vol. 38, № 3. P. 290–295. <https://doi.org/10.1111/j.2517-6161.1976.tb01597.x>
11. Кузнецов Д.А., Игнатов М.Н., Игнатова А.М. Физико-химические методы исследования твердой составляющей сварочных аэрозолей // *Вестн. Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. Машиностроение, материаловедение.* 2014. Т. 16, № 4. С. 140–150.
12. Гришагин В.М. Твердая составляющая сварочного аэрозоля как наполнитель металлокерамических изоляционных втулок сварочных горелок. URL: <https://waste.ua/eco/2009/industrial-waste/aerosol> (дата обращения: 29.03.2023).
13. Гришагин В.М. Сварочный аэрозоль: образование, исследование, локализация, применение: моногр. Томск: Изд-во Томск. политехн. ун-та, 2011. 213 с.
14. Рудской А.И., Паршин С.Г. Передовые тренды в металлургии и свариваемости хладостойких и криогенных сталей для Арктики и водородной энергетики // *Мир сварки.* 2022. № 1(56). С. 15–18.

References

1. Gorbach V.D. Svarochnoe proizvodstvo v sudostroenii [Welding Processes in Shipbuilding]. *Mir svarki*, 2022, no. 1, pp. 12–14.
2. *Review of the Labour Market in the Shipbuilding Sector: Results of the First Quarter of 2021.* 6 May 2021. Available at: <https://spb.hh.ru/article/28489> (accessed: 28 March 2023) (in Russ.).
3. Sokolova L.A., Popova O.N., Kalinina M.M., Bogdanov M.Yu., Kocheshova G.F., Gudkov A.B. Prognozirovanie riska razvitiya professional'nykh zabolevaniy sredi sborshchikov korpusov metallicheskih sudov mashinostroitel'nogo predpriyatiya [Prediction of Occupational Diseases Risk Among Assemblers of Vessel Metal Hulls of Machine Building Plant]. *Ekologiya cheloveka*, 2015, no. 1, pp. 10–14.
4. Krasovskiy V.O., Khalfin R.R., Galiullin A.R. K poisku real'nykh kontsentratsiy aerolya, deystvuyushchego na elektrosvarshchika [To Search of Real Concentration of the Aerosol of the Acting Electric Welder]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*, 2017, no. 5. Art. no. 21.
5. Minakova P.S., Voysheva A.S., Ignatova V.R. Analiz vrednykh i opasnykh proizvodstvennykh faktorov pri ruchnoy dugovoy svarke na rabochem meste svarshchika [Analysis of Manual Arc Welding Harmful and Dangerous Production Factors at the Welder's Workplace]. *Bezopasnost' i okhrana truda*, 2020, no. 4, pp. 36–38.
6. Oblamskaya I.S., Pestereva N.S., Skomorokhova E.A., Karpenko M.N. Priznaki neyrovspaleniya u krysa s margantsevoy toksicheskoy entsefalopatiey [Signs of Neuroinflammation in Rats with Manganese Encephalopathy]. *Meditinskiy akademicheskiy zhurnal*, 2016, vol. 16, no. 4, pp. 32–33.
7. Ivleva I., Pestereva N., Zubov A., Karpenko M. Intranasal Exposure of Manganese Induces Neuroinflammation and Disrupts Dopamine Metabolism in the Striatum and Hippocampus. *Neurosci. Lett.*, 2020, vol. 738. Art. no. 135344. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2020.135344>
8. Chashchin M.V., Ellingsen D.G., Chashchin V.P., Cabushka Ya.S., Thomassen I., Berlinger B., Bast-Pettersen R., Kusraeva Z.S., Fedorov V.N., Hliabova P.M., Kolesnikova T.A. Otsenka ekspozitsii k soedineniyam margantsa i zheleza u svarshchikov [Exposure Assessment of Airborne Manganese and Iron in Welders]. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya – ZNiSO*, 2014, no. 10, pp. 28–31.
9. Helsel D.R. *Statistics for Censored Environmental Data Using Minitab® and R.* Hoboken, 2012. 324 p. <https://doi.org/10.1002/9781118162729>
10. Turnbull B.W. The Empirical Distribution Function with Arbitrarily Grouped, Censored and Truncated Data. *J. R. Stat. Soc. B.* 1976, vol. 38, no. 3, pp. 290–295. <https://doi.org/10.1111/j.2517-6161.1976.tb01597.x>

11. Kuznetsov D.A., Ignatov M.N., Ignatova A.M. Fiziko-khimicheskie metody issledovaniya tverдой sostavlyayushchey svarochnykh aerorozley [Physics-Chemical Methods of Studies of Solid Part Welding Fumes]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Mashinostroenie, materialovedenie*, 2014, vol. 16, no. 4, pp. 140–150.

12. Grishagin V.M. Tverdaya sostavlyayushchaya svarochnogo aerorozlya kak napolnitel' metallokeramicheskikh izolyatsionnykh vtulok svarochnykh gorelok [Solid Ingredient of Welding Aerosol as Filler for Metal Ceramic Insulating Bushings of Gas Torches]. Available at: <https://waste.ua/eco/2009/industrial-waste/aerosol> (accessed: 29 March 2023).

13. Grishagin V.M. *Svarochnyy aerorozl': obrazovanie, issledovanie, lokalizatsiya, primenenie* [Welding Aerosol: Education, Research, Localization, Application]. Tomsk, 2011. 213 p.

14. Rudskoy A.I., Parshin S.G. Peredovye trendy v metallurgii i svarivaemosti khladostoykikh i kriogennykh staley dlya Arktiki i vodorodnoy energetiki [Cutting-Edge Trends in Metallurgy and Weldability of Cold-Resistant and Cryogenic Steels for the Arctic and Hydrogen Energy Industry]. *Mir svarki*, 2022, no. 1, pp. 15–18.

Received 25 May 2023

Accepted 5 September 2023

Published 30 November 2023

Поступила 25.05.2023

Принята 05.09.2023

Опубликована 30.11.2023