

УДК 613.6:669

## СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА АЭРОЗОЛЯ В ВОЗДУХЕ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ ПЛАВИЛЬЩИКА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ФЕРРОХРОМА ПО РАЗЛИЧНЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ

Федорук А.А., Кудряшов И.Н., Другова О.Г., Мартин С.В.

ФБУН «Екатеринбургский медицинский – научный центр профилактики и охраны здоровья рабочих промпредприятий» Роспотребнадзора, г. Екатеринбург, Россия

Гигиеническая оценка новых производств и технологий является отправной точкой разработки и планирования профилактических мероприятий. Металлотермический способ производства ферросплавов, разработанный как альтернатива «классической» технологии производства ферросплавов, сопровождающейся поступлением в воздух рабочей зоны сложного аэрозольного микста (окислы хрома, железа и других металлов, а также двуокись кремния) и газообразных веществ (оксиды азота и углерода), также требует проведения гигиенической оценки.

**Цель исследования** - сравнительная оценка условий труда плавильщиков при воздействии аэрозоля в воздухе рабочей зоны при получении феррохрома по разным технологиям.

**Материалы и методы.** Проведены исследования и гигиеническая оценка компонентов промышленного аэрозоля на рабочих местах плавильщиков предприятий по производству ферросплавов, использующих углеродистый способ получения феррохрома в рудотермических печах большой установочной мощности и металлотермическим способом по «бездымной» технологии (опытное производство).

**Результаты.** Используемое сырье, оборудование и технологические особенности получения ферросплавов углеродистым и металлотермическим способом определяют различие в составе промышленного аэрозоля воздуха рабочей зоны плавильщиков. Итоговый класс условий труда при обоих способах получения феррохрома по химическому фактору оценен как вредный третьей степени; по фактору АПФД - как вредный второй степени и допустимый при, соответственно, углеродистом способе получения феррохрома и по «бездымной» технологии. Приоритетным контаминатом в рабочей зоне при получении ферросплавов обоими способами остается хром (VI) в концентрациях, превышающих ПДК. Для обоих процессов характерно наличие в воздухе рабочей зоны плавильщиков комбинации

веществ остронаправленного и раздражающего действия. Номенклатура канцерогенов и АПФД зависит от технологии.

**Ключевые слова:** состав аэрозоля, условия труда плавильщика, производство феррохрома

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Финансирование:** исследование не имело спонсорской поддержки.

**Для цитирования:** Федорук А.А., Кудряшов И.Н., Другова О.Г., Мартин С.В. Сравнительная оценка аэрозоля в воздухе рабочей зоны плавильщика при производстве феррохрома по различным технологиям. Медицина труда и экология человека. 2025; 4: 116 – 134. doi: <http://dx.doi.org/10.24412/2411-3794-2025-10406>

**Для корреспонденции:** Кудряшов Иван Николаевич – научный сотрудник отдела медицины труда ФБУН ЕМНЦ ПОЗРПП Роспотребнадзора, e-mail: kudryashov@ymrc.ru

## COMPARATIVE ASSESSMENT OF AEROSOLS IN THE FURNACE OPERATOR WORKPLACE AIR GENERATED BY FERROCHROME PRODUCTION USING DIFFERENT TECHNIQUES

Fedoruk A.A., Kudryashov I.N., Drugova O.G., Martin S.V.

Yekaterinburg Medical Research Center for Prophylaxis and Health Protection in Industrial Workers,  
Yekaterinburg, Russia

Hygienic assessment of novel production processes and techniques is the starting point for developing and planning preventive measures. The metallothermic technique of ferroalloy production developed as an alternative to the classical reduction process releasing complex aerosols containing oxides of chromium, iron, and other metals, as well as silicon dioxide, and gaseous substances (nitrogen and carbon oxides) into the workplace air requires a hygienic assessment.

**Objective.** To compare working conditions of furnace operators exposed to aerosols generated by ferrochrome production using different techniques.

**Materials and Methods.** We tested and conducted a hygienic assessment of the components of industrial aerosols sampled at workplaces of furnace attendants in ferroalloy production using carbothermic reduction in high-capacity ore-thermal furnaces

and metallothermic reduction using smokeless technology (pilot production).

**Results.** The raw materials, equipment, and process features used to produce ferroalloys using the carbothermic and metallothermic reduction techniques determine the differences in the composition of industrial aerosols in the workplace air. The final class of working conditions established for both techniques was assessed as hazardous, degree 3, in terms of chemical exposure and as hazardous, degree 2, in terms of exposure to aerosols inducing pulmonary fibrosis, and acceptable for the carbothermic and smokeless techniques of ferrochrome production. Chromium VI remained the priority contaminant with its concentrations exceeding the acceptable level regardless of the method used. Both production processes were found to release a combination of highly toxic and irritating chemicals. The nomenclature of carcinogens and fibrogenic aerosols depends on the technique.

**Keywords:** aerosol composition, working conditions, furnace operator, ferrochrome production

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

**Financing:** This research received no external funding.

**For citation:** Fedoruk A.A., Kudryashov I.N., Drugova O.G., Martin S.V. Comparative assessment of aerosols in the furnace operator workplace air generated by ferrochrome production using different techniques. Occupational Health and Human Ecology.

2025; 4:116 – 134. doi: <http://dx.doi.org/10.24412/2411-3794-2025-10406>

**For correspondence:** Ivan N. Kudryashov, Researcher, Department of Occupational Medicine, Yekaterinburg Medical Research Center for Prophylaxis and Health Protection in Industrial Workers, e-mail: kudryashov@ymrc.ru

Гигиеническая оценка новых производств и технологий является отправной точкой для последующей разработки профилактических мероприятий по сохранению здоровья работающих. Классические технологии черной металлургии в целом, и производство ферросплавов, в частности, неоднократно становились предметом изучения гигиенистов. Основной проблемой классических как печных, так и внепечных способов производства ферросплавов является значительное дымовыделение, ухудшающее экологическую обстановку и условия труда [1]. Многочисленными исследованиями показано, что ведущими производственными факторами указанного производства являются сложный аэрозольный микст, содержащий газообразные вещества (оксиды азота, углерода и пр.), продукты

конденсации и дезинтеграции (окислы хрома, железа и других металлов, а также двуокись кремния); неблагоприятный микроклимат; шум, вибрация и факторы трудового процесса, воздействующие уровни которых выходят за пределы допустимых параметров, условия труда рабочих основных и вспомогательных профессий характеризуются как вредные, отмечается канцерогенная опасность производства [1-9].

В совокупности с использованием дорогостоящего электропечного, дымопылеулавливающего или вакуумного оборудования, затратами на дорогостоящие футеровки, высоким расходом электроэнергии и низкой степенью извлечения металлов, при внепечных способах плавки (восстановление в футерованных реакторах (горнах)), указанные проблемы диктуют необходимость поиска новых технологических решений. На сегодняшний день имеется группа внепечных способов получения ферросплавов, альтернативных «классическому» получению ферросплавов, исключающих дымовыделение [10-12]. Процесс восстановления проводят в замкнутом объеме, изолированном от окружающей среды (с ограниченным доступом воздуха). Выплавка ферросплавов ведется без применения индукционных и электродуговых установок, с использованием тепла металлотермической реакции с последующей кристаллизацией получаемого металла или сплава. Технология позволяет путем оптимизации состава шихты получать качественный сплав даже при вовлечении в плавку бедного сырья, считающегося непригодным для получения качественного феррохрома и расходующегося в качестве материала для футеровки. Предполагается, что разработанный способ получения ферросплавов может быть реализован на миниметаллургическом уровне, в условиях расположенных при разрабатываемых месторождениях основного сырья мелких и средних металлургических предприятий, на которых могут быть созданы самостоятельные небольшие подразделения по выплавке ферросплавов повышенной чистоты и низкой себестоимости [13]. При этом, гигиеническая оценка факторов рабочей среды и трудового процесса предлагаемого способа получения ферросплавов отсутствует.

**Цель работы** - сравнительная оценка условий труда плавильщиков при воздействии аэрозоля в воздухе рабочей зоны по разным технологиям.

**Материалы и методы.** Наши исследования проводились на рабочих местах плавильщиков двух предприятий по производству ферросплавов, расположенных в Свердловской области. Первое предприятие использует углермическим способ получения феррохрома в рудотермических печах большой установочной мощности;

второе - металлотермическим способ по бездымной технологии (опытное производство).

Основная продукция предприятий – высокоуглеродистый феррохром.

При идентификации компонентов аэрозоля на рабочих местах плавильщиков и дальнейшего определения их концентраций в воздухе рабочей зоны были проанализированы данные о технологическом процессе, используемое сырье и оборудование при производстве феррохрома, имеющиеся результаты производственного лабораторного контроля. Дополнительно были осуществлены выезды на предприятия для предварительного отбора проб аэрозоля с целью определения процентного содержания компонентов.

Отбор проб воздуха рабочей зоны проводился в зоне дыхания работника либо с максимальным приближением к ней воздухозаборного устройства ПА-40М (на высоте 1,2-1,5 м от пола/рабочей площадки при работе стоя), внесенного в Госреестр и действующей поверхкой. Анализ отобранных проб воздуха рабочей зоны проведен в соответствии с общепринятыми и аттестованными методиками. Определение среднесменных концентраций веществ проводили расчетным методом согласно Приложения 9 Руководства Р 2.2.2006-05.

Степень вредности условий труда при воздействии различных компонентов аэрозоля и для смеси веществ, обладающих односторонним действием на организм, проводилась по критериям Р 2.2.2006-05. Оценка условий труда проводилась согласно Р 2.2.2006-05 с определением класса условий труда (далее – КУТ).

**Результаты.** Технология получении феррохрома углеродическим способом основана на восстановлении ведущих окислов рудного сырья (хромовой руды, кварцита) углеродом восстановителей (коксового орешка, полукукса, угля). Основными компонентами хромовой руды являются оксиды хрома, железа и алюминия. Компоненты шихты смешиваются и подаются через механизированную систему шихтоподачи в электрические печи для плавки. Процесс плавки длится около 2 часов при этом температура меняется от 100<sup>0</sup> С на поверхности колошника до 2600<sup>0</sup> С в подэлектродном пространстве печи. По мере проплавления шихты процесс плавки корректируется путем добавления в печь шихтовых материалов. Во время плавки металл отделяется от шлака, выпускается из печи, разливается в изложницы и охлаждается, полученные слитки дробятся, подвергаются процессу фракционирования, после чего их упаковывают и отправляют потребителю.

Рабочими операциями плавильщика при такой технологии являются: ведение и корректировка процесса плавки, загрузка шихты с помощью завалочных машин, а также участие в выпуске расплава совместно с горновым ферросплавной печи при необходимости.

В составе промышленного аэрозоля на рабочем месте плавильщика при получении феррохрома углермическим способом определяли содержание оксидов углерода, серы, азота, кальция, хрома, железа, кремния, алюминия, возгонов каменноугольных смол и бенз(а)пирена (таблица 1). Концентрации оксидов хрома в воздухе рабочей зоны превышали ПДК в 2,7-5,6 раз (КУТ – 3,3). Концентрация пыли, содержащей аморфный диоксид кремния, превышала ПДК в 1,8 раз, пыль кремния диоксида кристаллического – в 1,1 раз (КУТ – 3,1). По остальным веществам превышения не выявлено (КУТ – 2). Также, по данным производственного контроля, в воздухе рабочей зоны плавильщика присутствуют углерода пыли: а) коксы каменноугольные, пековые, нефтяные, сланцевые, фактические концентрации которых были ниже 0,5 ПДК, что соответствовало допустимому КУТ.

**Таблица 1.** Гигиеническая оценка промышленного аэрозоля воздуха рабочей зоны плавильщика при получении феррохрома по различным технологиям

**Table 1.** Hygienic assessment of industrial aerosols generated by different ferrochrome production techniques at the workplace of a furnace operator

<b>Наименование вещества в воздухе рабочей зоны (класс опасности, особенность действия на организм)</b>	<b>ПДК<sup>2</sup>, мг/м<sup>3</sup></b>	<b>Фактические концентрации, мг/м<sup>3</sup></b>		<b>КУТ<sup>3</sup></b>		
		<b>максимально разовые</b>	<b>средне сменные</b>			
<b>Плавильщик</b> (получение феррохрома углермическим способом в рудотермических печах большой установочной мощности)						
<b>Химический фактор:</b>						
Азота оксиды (в пересчете на NO <sub>2</sub> ) (O, P) <sup>1</sup>	5	2,80±0,87	-	2		
Углерод оксид (O) <sup>1</sup>	20	Менее 10,0	-	2		

Сера диоксид (Р) <sup>1</sup>	10	$5,60 \pm 1,10$	-	2
Кальций оксид	1	$0,18 \pm 0,04$	-	2
Возгоны каменноугольных смол и пеков при среднем содержании в них бенз(а)пирена: а) менее 0,075% (К) <sup>1</sup>	-/0,2	-	$0,054 \pm 0,013$	2
Бенз(а)пирен (К)	-/0,00015	-	$(3,2 \pm 0,3) \times 10^{-5}$	2
диХром триоксид (по хрому (III)) (А) <sup>1</sup>	3/1	$3,82 \pm 0,95$	$2,67 \pm 0,66$	3.1
Хром (VI) триоксид (К, Рп) <sup>1</sup>	0,03/0,01	$0,081 \pm 0,020$	$0,056 \pm 0,014$	3.3
Коэффициент суммации раздражающего действия		1,12		3.1
Коэффициент суммации канцерогенного действия		9,5		3.3
<b>АПФД:</b>				<b>3.2<sup>4</sup></b>
диЖелезо триоксид (Φ) <sup>1</sup>	-/6	-	$2,71 \pm 0,67$	2
Кремний диоксид аморфный в виде аэрозоля конденсации при содержании от 10 до 60% (Φ) <sup>1</sup>	6/2	$5,20 \pm 1,30$	$3,64 \pm 0,91$	3.1
Кремний диоксид кристаллический при его содержании в пыли от 2 до 10% (Φ) <sup>1</sup>	-/4	-	$4,35 \pm 1,08$	3.1
диАлюминий триоксид с примесью кремния диоксида (в виде аэрозоля конденсации) (Φ) <sup>1</sup>	5/2	$0,097 \pm 0,024$	$0,065 \pm 0,016$	2
Углерода пыли: а) коксы каменноугольные, пековые, нефтяные, сланцевые	-/6	-	$3,0^5$	2

Коэффициент суммации фиброгенного действия		3,9		3.2
Плавильщик (получение феррохрома металлотермическим способом по бездымной технологии)				
<b>Химический фактор:</b>				<b>3.3</b>
Азота оксиды (в пересчете на NO <sub>2</sub> ) (O, P) <sup>1</sup>	5	Менее 0,1	-	2
Углерод оксид (O) <sup>1</sup>	20	5,60±1,40	-	2
Сера диоксид (P) <sup>1</sup>	10	Менее 5,0	-	2
Кальций оксид	1	7,60±1,50	-	3.2
Магний оксид (P) <sup>1</sup>	4	10,80±2,20	-	3.3
диХром триоксид (по хрому (III) (A) <sup>1</sup>	3/1	0,13±0,03	0,045±0,009	2
Хром (VI) триоксид (K, Рп) <sup>1</sup>	0,03/0,01	0,12±0,01	0,027±0,003	3.2
диАлюминий триоксид с примесью до 20% диХром триоксид	3/1	4,50±0,90	1,80±0,40	3.1
<b>АПФД:</b>				<b>2</b>
диЖелезо триоксид (Φ) <sup>1</sup>	-/6	-	Менее 2,10	2
Алюминий и его сплавы (в пересчете на Al) (Φ) <sup>1</sup>	6/2	5,71±1,14	0,41±0,08	2
<b>Примечание:</b> 1 – особенности действия на организм согласно СанПиН 1.2.3685-21 и Р 2.2.2006-05 (О – остронаправленное; Р – раздражающее; К – канцерогенное; А – аллергенное; Рп – репродуктивное; Φ – фиброгенное); 2 – ПДК в числителе – максимальная разовая/в знаменателе – среднесменная; 3 - класс условий труда по Р 2.2.2006-05; 4 – КУТ выставлен за счет эффекта суммации (превышение в 3,9 раз); 5- по материалам производственного контроля				

В состав аэрозоля воздуха рабочей зоны плавильщика входят вещества односторонненного механизма действия на организм: канцерогены (бенз(а)пирен,

возгоны каменноугольных смол, хром (VI) триоксид), раздражающего действия (оксиды азота, углерода, серы), остронаправленного действия (оксиды азота и углерода), фиброгенные аэрозоли (оксиды железа, кремния аморфного и кристаллического, алюминия, углерода пыли). Расчет коэффициента суммации действия для канцерогеноопасных веществ показал превышение допустимой величины ( $\leq 1$ ) – в 9,5 раз, что характеризует условия труда 3 классом 3 степени вредности. Для фиброгенных веществ эффект суммации действия превысил допустимое значение в 3,9 раза (КУТ – 3.2). Коэффициент суммации веществ раздражающего действия превысил допустимое значение в 1,12 раза, что соответствует вредному классу первой степени. Рассчитать коэффициент суммации остронаправленного действия не представлялось возможным, т.к. фактические концентрации оксида углерода оказались ниже 0,5 ПДК.

Итоговый класс условий труда по химическому фактору оценен как вредный третьей степени, по АПФД – как вредный первой степени, но с учетом коэффициента суммации для АПФД класс повысился на одну ступень – до второй (КУТ – 3.2). Для веществ канцерогенного действия класс условий труда с учетом эффекта суммации их комбинированного действия не изменился, тогда как для веществ раздражающего действия – оксидов азота и серы, суммирование эффекта ведет к изменению допустимых условий труда при оценке изолированного действия этих веществ до вредного класса первой степени вредности при их комбинированном воздействии.

Опытное производство феррохрома металлотермическим способом по бездымяной технологии было размещено на пустующих площадях однопролетного одноэтажного здания – бывшего цеха железобетонных изделий. На момент проведения исследований вентиляция здания – естественная. В состав цеха входили три производственных площадки: «горновая», включающая участки подготовки шихты, непосредственно плавки, остывания и очистки блока феррохрома; площадка механизированного дробления шлака феррохрома; площадки измельчения и обжига алюминиевой стружки; площадка разгрузки-погрузки сырьевых материалов и феррохрома.

Процесс получения феррохрома заключается в подготовке шихты (дробление и обжиг алюминиевой стружки; сушка, магнитная сепарация и обжиг хромового концентрата в трубчатой и муфельной печах; дозирование шихтовых компонентов и перемешивание в смесителе); загрузке и проплавлении шихты в плавильном горне; выгрузке продуктов плавки из горна с последующим разделением на феррохром и

шлак. При загрузке в горн массив шихты с запальной смесью предварительно подготавливают, зафиксировав его от рассыпания и изолировав поверхность фиксированного массива сыпучим оgneупорным слоем.

При получении феррохрома по выше указанной технологии используют хромовый концентрат, алюминиевую стружку, хромовый ангидрид, обожженную известь и окись железа (красный пигмент). В состав хромового концентрата входят (данные в пересчете на оксиды): хром (45-58 %), магний (14-19%), кремний (3-4%), а также железо (общее – 9-15 %) и ряд других компонентов в виде примесей менее 1 % (кальций, титан, углерод, сера, фосфор). Кроме того, добавляются хромитовые окатыши, где основной компонент хром (в пересчете на оксид (III) – 50 %), а также компоненты (содержание по оксидам от 9 до 18 %) – магний, железо, алюминий, кремний (перечислены по мере убывания их содержания). Другим компонентом, добавляемым в шихту, является хромовая руда, содержащая (в пересчете на оксид) хром (46%), магний (18%), кремний (13%), железо (18%), алюминий (10%) и незначительные примеси фосфора и серы (менее 0,005%). В качестве изолирующего оgneупорного слоя используют шлак, образующийся в процессе производства, основными компонентами которого являются (в пересчете на оксид) алюминий (56%), кальций (19%), магний (18%), хром (5%) и незначительные примеси кремния, титана, железа (0,7% и менее).

Плавильщик в процессе получения феррохрома металлотермическим способом осуществляет ручной набор шихты, механизированную загрузку оgneупорного материала (шлака) и шихты в плавильный горн; ведет процесс проплавления шихты и разбор продуктов плавки (механизированное разделение феррохрома от шлака). Процесс плавки приставляет собой эндотермическую реакцию, при которой в рабочую зону поступает большое количество тепла и пылегазоаэрозольной смеси.

Исследования состава аэрозоля показали наличие следующих компонентов: оксиды углерода, серы, азота, кальция, магния, хрома, железа и алюминия. (Таблица 1). Среди химических веществ в составе промышленного аэрозоля плавильщика при данной технологии установлено превышение ПДК по оксиду магния в 2,7 раза (КУТ – 3.2); по оксиду хрома (VI) в 4 и в 2,7 раза по ПДК максимально разовой и ПДК среднесменной соответственно (КУТ – 3.2); по диАлюминий триоксиду с примесью диХром триоксида (до 20 %) в 1,5 раза по ПДК максимально разовой и в 1,8 раза по ПДК среднесменной (КУТ – 3.1). Фактические концентрации АПФД не превышали нормативных значений (КУТ – 2).

В состав аэрозоля воздуха рабочей зоны плавильщика производства феррохрома

по бездымной технологии входят вещества однонаправленного механизма действия на организм: раздражающего действия (оксиды азота, серы, магния), остронаправленного действия (оксиды азота и углерода), фиброгенные аэрозоли (оксиды железа и алюминия). Рассчитать коэффициент суммации остронаправленного, раздражающего и фиброгенного действия не представлялось возможным, т.к. фактические концентрации некоторых веществ оказались ниже 0,5 ПДК либо ниже чувствительности аттестованных методик.

Итоговая оценка условий труда на рабочем месте плавильщика производства феррохрома по бездымной технологии по химическому фактору соответствовала вредному классу третьей степени, по АПФД – допустимому классу.

**Обсуждение.** Аэрозоль воздуха рабочей зоны в производстве ферросплавов состоит из различных газообразных продуктов и пылевых частиц. Различие в составе сырья, изолирование процесса плавки феррохрома при металлотермическом способе в сравнении с технологией углеродистой плавки привели к изменению состава промышленного аэрозоля в воздухе рабочей зоны плавильщиков и условий труда. В составе аэрозоля у плавильщиков углеродистой плавки выявлены оксиды азота, углерода, серы, кальция, хрома, кремния, железа, алюминия, возгоны каменноугольных смол и пеков, также углерода пыли, что согласуется с исследованиями других авторов [4,14-15]. Аналогичные данные по минеральному составу были получены при анализе уловленной пыли. В составе уловленной от печей выплавки ферросплавов пыли обнаруживался (в пересчете на оксид) хром (от 17 до 68 %), магний (до 45 %), кремний (до 14 %), алюминий (до 6 %) и углерод (до 4 - 8,4%) в зависимости от выплавляемых сплавов [16-17].

При оценке нового способа получения ферросплавов на рабочем месте плавильщика металлотермическим способом не были идентифицированы такие канцерогены как возгоны каменноугольных смол и бенз(а)пирен, но выявлены оксиды магния, обладающие раздражающим действием, и алюминия с примесью диХром триоксида. При этом, концентрации новых компонентов аэрозоля превышали ПДК, условия труда соответствовали вредным второй и первой степени соответственно. Однако некоторые авторы отмечают, что и при углеродистом получении феррохрома в воздухе рабочей зоны могут присутствовать оксиды магния [4,15]. Но в нашем случае они не были идентифицированы при плавке в рудотермических печах на основании изучения данных производственного контроля, используемого сырья и материалов. Возможно различие в содержании компонентов аэрозоля в воздухе рабочей зоны связано с различными видами

ферросплавов, получаемыми в разных производствах.

Концентрации оксидов хрома (III и VI) были снижены у плавильщиков металлотермического производства по сравнению с углермическим производством, что привело к улучшению условий труда по этим факторам на одну ступень – как допустимые и вредные второй степени против вредных первой и третьей степени соответственно. Повышенные концентрации хрома отмечали многие исследователи и именно он позиционируется как основной компонент аэрозоля в ферросплавном производстве [14-15]. Другие авторы отмечали отсутствие превышения концентраций оксидов хрома в плавильных пролетах, хотя доля хрома (VI) в пыли была значительно выше, чем при других операциях [7,9].

Многие авторы отмечают, что ведущим вредным производственным фактором при выплавке ферросплавов в печах является фиброгенная пыль, содержащая диоксид кремния, а также углерода пыли [8,14-15]. В нашем случае у плавильщиков углермической плавки также обнаружены повышенные концентрации АПФД (КУТ – 3.2), тогда как при металлотермической плавке таких превышений нет (КУТ – 2), а состав АПФД отличается отсутствием содержания оксидов кремния (содержание кремния диоксида менее 2% в пыли) и пылей углерода (из-за отсутствия углеродсодержащих восстановителей в шихте). Фиброгенные аэрозоли являются факторами риска развития пылевых заболеваний легких [2,6]. Поэтому условия труда плавильщиков при металлотермическом получении феррохрома можно оценить, как более благоприятные в отношении рисков фиброгенных эффектов аэрозоля.

Для рабочих мест плавильщиков обоих способов характерно наличие веществ комбинированного действия – раздражающего, остронаправленного, фиброгенного, а для углермического способа получения феррохрома – и канцерогенного, что может изменять данные эффекты, приводя к усилению воздействия [18]. В частности, это показано для веществ раздражающего действия у плавильщиков углермического производства (условия труда из допустимых по отдельным веществам (оксиды азота, серы) переходят во вредные первой степени с учетом коэффициента суммации действия). У плавильщиков металлотермическим способом изменение состава аэрозоля раздражающего действия (оксиды азота, серы) за счет присутствия повышенных концентраций оксида магния также характеризует условия труда как вредные, но уже второй степени. Поэтому говорить об улучшении условий труда в отношении содержания веществ раздражающего действия при изменении технологии не приходится.

В тоже время, мы можем говорить об улучшении условий труда плавильщиков металлотермического способа плавки относительно содержания канцерогенных веществ. Ввиду отсутствия в составе шихты углеродсодержащих восстановителей по сравнению с углермической плавкой, в воздухе рабочей зоне выделяется только один канцероген – оксид хрома (VI) (КУТ – 3.2). Тогда как у плавильщиков углермической плавки комбинация канцерогенных веществ ведет к усилению эффекта их воздействия (КУТ – 3.3).

В отношении комбинированного действия веществ остронаправленного действия эффект рассчитать не представляется возможным, но оценка рабочих мест плавильщиков обеих технологий по отдельным веществам совпадает (КУТ – 2 (допустимый)).

В целом, по данным проведенной гигиенической оценки сложно говорить о приоритете в отношении безопасности условий труда для здоровья плавильников какой-либо из технологий, но можно отметить некоторое положительные моменты металлотермического получения феррохрома в связи с уменьшением количества загрязняющих воздух рабочей зоны канцерогенных веществ и АПФД. Вместе с тем при увеличении объемов производства феррохрома металлотермическим способом, организации технологического процесса на площадях, отличных по архитектурно-планировочным решениям (высота и площадь здания, наличие вентиляции) от площадей, где располагалось опытное производство, возможно увеличение поступления загрязняющих веществ в воздух рабочей зоны, что не позволяет сделать однозначный вывод о преимуществе данного способа получения феррохрома с позиций гигиены труда.

Следует отметить, что исследования размеров частиц в производстве феррохрома при выплавке в печах показали наличие значительного количества частиц размером менее 5 мкм (респирабельных) и ультрадисперсных фракций [9,14,19-20]. Также при исследовании пылей от углермического производства феррохрома было показано, что гранулометрический состав ее представлен в основном (на 70-75 %) фракцией 0,01 мм (10 мкм) [16]. Такая размерность частиц обуславливает способность пыли проникать в нижние отделы дыхательных путей, что может представлять опасность для здоровья ввиду биологической опасности таких частиц, в том числе с учетом широкого спектра компонентного состава аэрозоля (особенно содержание хрома, железа) [21-23].

**Заключение.** Используемое сырье, оборудование и технологические особенности получения ферросплавов углермическим и металлотермическим способом

определяют различие в составе промышленного аэрозоля воздуха рабочей зоны плавильщиков. Определенным преимуществом металлотермического способа является отсутствие углеродсодержащих восстановителей в составе шихты (снижается количество канцерогенов в воздухе рабочей зоны), снижение фиброгенной нагрузки на плавильщиков. Однако использование шлаков от получения ферросплавов при выплавке ведет к повышенной контаминации воздуха рабочей зоны плавильщиков при металлотермическом способе неорганическими соединениями магния и алюминия в смеси с хромом.

Приоритетным химическим веществом в рабочей зоне при получении ферросплавов обоими способами остается хром (VI) в концентрациях, превышающих ПДК. Для обоих процессов характерно наличие в воздухе рабочей зоны плавильщиков комбинации веществ остронаправленного и раздражающего действия, итоговая оценка условий труда плавильщиков по химическому фактору соответствует вредному классу третьей степени, что требует обязательной разработки профилактических мероприятий по сохранению здоровья работающих.

#### Список литературы:

1. Овсов Н.С., автор, патентообладатель. Способ металлотермической плавки. Патент Россия RU 2269585. 20.04.2004.
2. Покровская Л.В. Гигиена труда в производстве ферросплавов электропечным способом: Автореферат дис. на соискание ученой степени кандидата медицинских наук. Свердл. гос. мед. ин-т. Свердловск, 1971: 20 с.
3. Moulin J.J., Portefaix P., Wild P., Mur J.M., Smagghe G., Mantout B. Mortality study among workers producing ferroalloys and stainless steel in France. Br J Ind Med. 1990;47(8):537-543. DOI: 10.1136/oem.47.8.537.
4. Новацкий В.Е. Гигиенические особенности условий труда и их влияние на здоровье работающих, занятых в производстве высокоуглеродистого феррохрома: специальность 14.02.01 "Гигиена": автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата медицинских наук. Санкт-Петербург, 2010: 19с.
5. Bala S., Tabaku A. Chronic obstructive pulmonary disease in iron-steel and ferrochrome industry workers. Cent Eur J Public Health. 2010;18(2):93–98. doi: 10.21101/cejph.a3548.
6. Кудряшов И.Н. Оценка аэрогенного профессионального риска здоровью работников плавильного цеха ферросплавного производства. Здоровье населения

- и среда обитания. 2012; 9 (234): 4-6.
7. Huvinen M., Pukkala E. Cancer incidence among Finnish ferrochromium and stainless steel production workers in 1967–2011: A cohort study. BMJ Open. 2013;3(11):e003819. DOI: 10.1136/bmjopen-2013-003819.
8. Кудряшов, И.Н., Федорук А.А. Вопросы гигиены труда при получении ферросплавов. Медицина труда и промышленная экология. 2014; 6: 17-19
9. Бекмухамбетов Е.Ж., Мамырбаев А.А., Джаркенов Т.А. Гигиеническая оценка условий труда при производстве ферросплавов. Гигиена и санитария. 2016; 95(6): 545-548. DOI 10.18821/0016-9900-2016-95-6-545-548
10. Кольба, А.В., Третьяков С.В., Загородний А.А. Мини-металлургические способы получения ферросплавов. Сталь. 2008; 8: 70a-70.
11. Загородний А.А., Кольба А.В., Селиванов С.Н. Разработка бездымной миниметаллургической технологии производства ферросплавов. Технология металлов. 2012; (1):2-6.
12. Кольба А.В., Загородний А.А. Повышение степени извлечения титана при выплавке ферротитана бездымным миниметаллургическим способом. Титан. 2012; 3(37): 4-9.
13. Загородний А.А., Кольба А.В., Селиванов С.Н. Новая энергоэффективная бездымная мини-металлургическая технология производства ферросплавов. Теплоэнергоэффективные технологии. 2010; 4: 33-37
14. Липатов Г.Я., Адриановский В.И., Сорокин В.Ю. и др. Пылевой фактор в производстве ферросплавов алюмотермическим способом. Вестник Уральской государственной академии. 2003; 12: 38-40.
15. Плеханов В.П., Кирьянова М.Н., Фролова Н.М., Редченко А.В., Маркова О.Л., Иванова Е.В. Оценка профессионального риска здоровью работающих при производстве ферросплавов. Гигиена и санитария. 2017; 96(7): 682-685. DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-7-682-685>
16. Жунусова А.К., А, Мамонов, А.К., Жунусов А.К. Переработка аспирационной пыли феррохрома. Наука и техника Казахстана. 2016; 3-4: 66-70.
17. Избембетов Д.Д., Амангельдиев Н.М., Зупаров Н.С. Разработка технологии

производства огнеупорных изделий из рукавной пыли и шлаков высокоуглеродистого феррохрома. Теория и технология металлургического производства. 2015; 2(17): 56-60.

18. Мулдашева Н.А., Каримова Л.К., Рузаков В.Щ, Гайнуллина М.К., Бейгул Н.А., Федорук А.А., Иващенко М.А., Маврина Л.Н., Ильина Л.А. Комбинированное воздействие химических веществ в условиях различных производств. Медицина труда и экология человека. 2025; (2): 27-44. DOI: 10.24412/2411-3794-2025-10202.

19. Järvelä M., Huvinen M., Viitanen A.K., Kanerva T., Vanhala E., Uitti J., et al. Characterization of particle exposure in ferrochromium and stainless steel production. J Occup Environ Hyg. 2016;13(7):558-568. doi: 10.1080/15459624.2016.1159687.

20. Jørgensen RB, Kero IT, Blom A, Grove EE, Svendsen KVH. Exposure to ultrafine particles in the ferroalloy industry using a logbook method. Nanomaterials (Basel). 2020;10(12):2546. DOI: 10.3390/nano10122546.

21. Sobolewski M., Conrad K., Marvin E., Eckard M., Goeke C.M., Merrill A.K., et al. The potential involvement of inhaled iron (Fe) in the neurotoxic effects of ultrafine particulate matter air pollution exposure on brain development in mice. Part Fibre Toxicol. 2022;19(1):56. DOI: 10.1186/s12989-022-00496-5.

22. Li X., Guo Y. Association between size-resolved PM<sub>10</sub>-bound heavy metal and metalloid exposure and oxidative stress among waste recycling workers. Sci Rep. 2025;15(1):25785. DOI: 10.1038/s41598-025-09250-1.

23. Hamra G.B., Guha N., Cohen A., Laden F., Raaschou-Nielsen O., Samet J.M., et al. Outdoor particulate matter exposure and lung cancer: A systematic review and meta-analysis. Environ Health Perspect. 2014;122(9):906-911. DOI: 10.1289/ehp/1408092.

## References:

1. Ovsov N.S. Method for thermal melting of metal. Patent RU 2269585 dated April 20, 2004. (In Russ.)
2. Pokrovskaya L.V. Occupational Hygiene in the Production of Ferroalloys by Electrical Engineering: Abstract of the Candidate of Medical Sciences Dissertation. Sverdlovsk State Medical Institute; 1971. 20 p. (In Russ.)

3. Moulin J.J., Portefaix P., Wild P., Mur J.M., Smagghe G., Mantout B. Mortality study among workers producing ferroalloys and stainless steel in France. *Br J Ind Med.* 1990;47(8):537-543. DOI: 10.1136/oem.47.8.537.
4. Novatsky V.E. Hygienic Features of Working Conditions and Their Health Effects in Workers Engaged in High-Carbon Ferrochrome Production: Abstract of the Candidate of Medical Sciences Dissertation. St. Petersburg; 2010. 19 p. (In Russ.)
5. Bala S., Tabaku A. Chronic obstructive pulmonary disease in iron-steel and ferrochrome industry workers. *Cent Eur J Public Health.* 2010;18(2):93–98. DOI: 10.21101/cejph.a3548.
6. Kudryashov I.N. Assessment occupational risk contained with air pollution for health of workers melting shop in ferroalloy production. *Public Health and Life Environment.* 2012;(9(234)):4-6. (In Russ.)
7. Huvinen M., Pukkala E. Cancer incidence among Finnish ferrochromium and stainless steel production workers in 1967–2011: A cohort study. *BMJ Open.* 2013;3(11):e003819. DOI: 10.1136/bmjopen-2013-003819.
8. Kudryashov I.N., Fedoruk A.A. Occupational hygiene topics in ferroalloys production. *Occupational Health and Industrial Ecology.* 2014;(6):17-19. (In Russ.)
9. Bekmuhametov E.Zh., Mamyrbaev A.A., Dzharkenov T.A. Hygienic assessment of working conditions in the production of ferro-alloys. *Hygiene and Sanitation.* 2016;95(6):545-548. (In Russ.) DOI: 10.18821/0016-9900-2016-95-6-545-548.
10. Kolba A.V., Tretyakov S.V., Zagorodnij A.A. Mini-metallurgical methods for producing ferroalloys. *Steel.* 2008;(8):70a-70. (In Russ.)
11. Zagorodnij A.A., Kolba A.V., Selivanov S.N. Development of smokeless minimetallurgical technology for the production of ferroalloys. *Technology of Metals.* 2012;(1):2-6. (In Russ.)
12. Kolba A.V., Zagorodnij A.A. Increased extraction of titanium smelting ferrotitanium smokeless mini-metallurgical method. *Titan.* 2012;(3(37)):4-9. (In Russ.)
13. Zagorodnij A.A., Kolba A.V., Selivanov S.N. New energy-efficient smokeless mini-metallurgical technology for the production of ferroalloys. *Heat and Energy Efficient Technologies.* 2010;(4):33-37. (In Russ.)

14. Lipatov G.Ya., Adrianovsky V.I., Sorokin V.Yu., Samylkin A.A., Gafarova A.V. Dust factor in the production of ferroalloys by the aluminothermic method. Bulletin of the Ural State Academy. 2003;(12):38-40. (In Russ.)
15. Plekhanov V.P., Kir'yanova M.N., Frolova N.M., Redchenko A.V., Markova O.L., Ivanova E.V. Assessment of occupational health risk in ferroalloy plant. Hygiene and Sanitation. 2017;96(7):682-685. (In Russ.) DOI: 10.47470/0016-9900-2017-96-7-682-685.
16. Zhunusova A.K., Mamonov A.R., Zhunusov A.K. Recycling of ferrochrome aspirational dust. Science and Technology of Kazakhstan. 2016;(3-4):66-70. (In Russ.)
17. Izbembetov D.D., Amangeldiyev N.M., Zuparov N.S. Development of technology for production of refractory products from the hose fume and high-carbon ferrochrome slags. Theory and Technology of Metallurgical Production. 2015;(2(17)):56-60. (In Russ.)
18. Muldasheva N.A., Karimova L.K., Ruzakov V.O., Gainullina M.K., Beigul N.A., Fedoruk A.A., et al. Combined exposure to chemicals in various industrial conditions. Occupational Medicine and Human Ecology. 2025;(2):27-44. (In Russ.) DOI: 10.24412/2411-3794-2025-10202.
19. Järvelä M., Huvinen M., Viitanen A.K., Kanerva T., Vanhala E., Uitti J., et al. Characterization of particle exposure in ferrochromium and stainless steel production. J Occup Environ Hyg. 2016;13(7):558-568. doi: 10.1080/15459624.2016.1159687.
20. Jørgensen RB, Kero IT, Blom A, Grove EE, Svendsen KVH. Exposure to ultrafine particles in the ferroalloy industry using a logbook method. Nanomaterials (Basel). 2020;10(12):2546. DOI: 10.3390/nano10122546.
21. Sobolewski M., Conrad K., Marvin E., Eckard M., Goeke C.M., Merrill A.K., et al. The potential involvement of inhaled iron (Fe) in the neurotoxic effects of ultrafine particulate matter air pollution exposure on brain development in mice. Part Fibre Toxicol. 2022;19(1):56. DOI: 10.1186/s12989-022-00496-5.
22. Li X., Guo Y. Association between size-resolved PM<sub>10</sub>-bound heavy metal and metalloid exposure and oxidative stress among waste recycling workers. Sci Rep. 2025;15(1):25785. doi: 10.1038/s41598-025-09250-1.
23. Hamra G.B., Guha N., Cohen A., Laden F., Raaschou-Nielsen O., Samet J.M., et al. Outdoor particulate matter exposure and lung cancer: A systematic review and meta-analysis. Environ Health Perspect. 2014;122(9):906-911. DOI: 10.1289/ehp/1408092.

## Сведения об авторах:

Федорук Анна Алексеевна; Fedoruk A.A. – канд. мед. наук, ученый секретарь, ведущий научный сотрудник отдела медицины труда ФБУН «Екатеринбургский медицинский - научный центр профилактики и охраны здоровья рабочих промпредприятий», e-mail: annaf@ymrc.ru; ORCID: 0000-0002-6354-0827

Кудряшов Иван Николаевич; Kudryashov I.N. – научный сотрудник отдела медицины труда ФБУН «Екатеринбургский медицинский - научный центр профилактики и охраны здоровья рабочих промпредприятий», E-mail: kudryashov@ymrc.ru; ORCID: 0000-0001-7051-5657

Другова Ольга Геннадьевна; Drugova O.G. – канд. биол. наук, старший научный сотрудник отдела медицины труда ФБУН «Екатеринбургский медицинский - научный центр профилактики и охраны здоровья рабочих промпредприятий», E-mail: drugovao@ymrc.ru; ORCID: 0000-0001-5491-3209

Мартин Сергей Викторович; Martin S.V. – заведующий отделом медицины труда ФБУН «Екатеринбургский медицинский - научный центр профилактики и охраны здоровья рабочих промпредприятий», E-mail: martin@ymrc.ru; ORCID: 0000-0001-5863-2164

## Author Information:

Anna A. Fedoruk, Candidate of Medical Sciences, Scientific Secretary, Leading Researcher, Department of Occupational Medicine, Yekaterinburg Medical Research Center for Prophylaxis and Health Protection in Industrial Workers, e-mail: annaf@ymrc.ru; ORCID: 0000-0002-6354-0827

Ivan N. Kudryashov, Researcher, Department of Occupational Medicine, Yekaterinburg Medical Research Center for Prophylaxis and Health Protection in Industrial Workers, e-mail: kudryashov@ymrc.ru; ORCID: 0000-0001-7051-5657

Olga G. Drugova, Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Department of Occupational Medicine, Yekaterinburg Medical Research Center for Prophylaxis and Health Protection in Industrial Workers, e-mail: drugovao@ymrc.ru; ORCID: 0000-0001-5491-3209

Sergey V. Martin, Head of the Department of Occupational Medicine, Yekaterinburg Medical Research Center for Prophylaxis and Health Protection in Industrial Workers, E-mail: martin@ymrc.ru; ORCID: 0000-0001-5863-2164

Поступила/Received: 23.10.2025

Принята в печать/Accepted: 31.10.2025