

ОХРАНА ТРУДА. ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ. ЭКОЛОГИЯ

DOI 10.24412/2077-8481-2024-4-85-93

УДК 613.6

Н. Н. КАЗАЧЁНОК, канд. биол. наук

Белорусско-Российский университет (Могилев, Беларусь)

ПРОБЛЕМЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВРЕДНОГО ДЕЙСТВИЯ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ АЭРОЗОЛЕЙ В РАЗЛИЧНЫХ ОТРАСЛЯХ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Аннотация

Показано, что гигиенические нормативы, установленные для отдельных соединений, не учитывают особенностей комбинированного действия и малопригодны для прогнозирования вредного действия реальных полиметаллических аэрозолей, образующихся на рабочих местах в различных отраслях машиностроения. Такие аэрозоли могут проявлять способность к сверхкумуляции и гиперсенсibilизации на уровне субпороговых доз. Необходима разработка критериев раннего обнаружения вредного влияния таких аэрозолей на здоровье работников на конкретных рабочих местах.

Ключевые слова:

полиметаллические аэрозоли, охрана труда в машиностроении, токсикометрические параметры, летальные дозы, пороговые дозы, кумуляция, сверхкумуляция.

Для цитирования:

Казачёнок, Н. Н. Проблемы прогнозирования вредного действия полиметаллических аэрозолей в различных отраслях машиностроения / Н. Н. Казачёнок // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2024. – № 4 (85). – С. 85–93.

Введение

Вопросы охраны труда всегда будут являться актуальными. Совершенствуется законодательство в сфере охраны труда, разрабатываются и применяются более эффективные организационные и технические меры защиты работников. В Союзном государстве ежегодно проводятся совместные российско-белорусские конференции по вопросам охраны труда. Только в России за 2022 г. издержки, связанные с состоянием условий труда и охраной труда, составили 2,26 трлн р. или около 1,5 % ВВП [10].

Тем не менее значительное коли-

чество рабочих мест в Российской Федерации и в Республике Беларусь не соответствует требованиям законодательства о труде.

В России в 2022 г. доля работников, занятых на работах с вредными и опасными условиями труда, составляла 36,1 %. На обрабатывающих производствах доля таких рабочих мест составляет 42 %. Из них 7,5 % связано с воздействием химических факторов, 4,5 % – с аэрозолями преимущественно фиброгенного действия [10].

Согласно материалам Министерства труда и социальной защиты Республики Беларусь, в 2022 г. 739,9 тыс. ра-

ботников были заняты на рабочих местах с вредными или опасными условиями труда [7]. В 2023 г. 46552 чел. работали в условиях повышенной запыленности, в том числе аэрозолями, 19895 чел. – в условиях повышенной загазованности [13].

Определённый вклад в формирование профессиональной заболеваемости вносят предприятия машиностроения. Так, за 2019 г. в Республике Беларусь было выявлено 56 новых случаев профзаболеваний, из них 28 на предприятиях по производству машин и оборудования [6]. Сохраняется профессиональная заболеваемость и в других регионах Союзного государства. В 2021 г. в России было выявлено 3098 новых случаев профессиональных заболеваний, в 2022 г. – 3530. Из них 24,8 % связано с предприятиями обрабатывающей промышленности [10]. Значительную часть профессиональных заболеваний составляют заболевания пылевой этиологии и хронические отравления. Например, на машиностроительных предприятиях Республики Татарстан 52 % профзаболеваний обусловлено воздействием физических факторов, болезни органов дыхания составляют 25,4 %, 19,4 % – заболевания, связанные с фактором тяжести труда [1]. Для отдельных профессий эта доля ещё выше. Согласно результатам медицинских обследований сварщиков России и СНГ, 80 % профзаболеваний составляют пневмокониоз и хронический бронхит, который может развиться уже через пять лет работы [5].

В Республике Беларусь охране труда работников придаётся важное значение. Ежегодно сокращается доля рабочих мест с вредными и опасными условиями труда [6, 7]. Однако многие профессиональные заболевания развиваются со временем и могут проявляться через много лет после воздействия вредного фактора. В наибольшей степени это относится к действию фиброгенных пылей и канцерогенных веществ.

Особенно серьезные проблемы

при разработке мер защиты и профилактики создают химические вещества. У большинства производственных факторов механизмы действия на человека достаточно просты и хорошо изучены, не создают проблем при гигиеническом нормировании и прогнозировании влияния на работоспособность и здоровье. Механизмы воздействия на живой организм разных химических элементов и их соединений исключительно разнообразны.

Вредные вещества на предприятиях машиностроения

На машиностроительных предприятиях наибольшее загрязнение воздуха рабочей зоны отмечается на литейном производстве и в сварочных цехах [1].

Аэрозоли, образующиеся при плавке стали, могут включать 56,8 % оксида железа, 10 % оксида марганца, оксиды фосфора, хрома и другие соединения. Выплавка чугуна и стали в электродуговых печах может сопровождаться выделением не только железа и легирующих компонентов, но и фторидов, цианидов, оксидов серы. При плавке цветных металлов и их сплавов, помимо самих металлов (цинка, кадмия, свинца, бериллия и др.) и их оксидов, в воздух рабочей зоны могут попадать оксиды азота и серы, хлор, хлорид бария, фторид кальция. Количественный состав выбросов слабо изучен. В литейных цехах, в зависимости от типа формовочных и стержневых смесей, в воздух попадают бензол, фенол, формальдегид, бенз(а)пирен, другие органические соединения [3, 4].

Аэрозоль конденсации, образующийся при сварке, отличается наибольшей лабильностью. На его состав влияют газы, входящие в состав воздуха и защитной смеси, конденсирующиеся пары металлов и других элементов, входящих в состав свариваемых материалов, сварочной проволоки или элект-

тродов, присадочных и напыляемых материалов, а также соединения этих элементов. Свойства сварочного аэрозоля зависят также от температуры дуги и создаваемого ей фотохимически активного видимого и ультрафиолетового излучения. При сварке сталей образуются, в частности, озон, оксиды азота и углерода; при использовании в качестве компонента шлаковой основы плавикового шпата выделяется фтористый водород. Твердая составляющая сварочного аэрозоля содержит в основном оксиды железа, марганца и кремния. При сварке высоколегированных сталей, бронзы, латуни и других сплавов в состав аэрозолей могут входить соединения десятков элементов [2].

Таким образом, для технологических процессов литья и сварки характерно одновременное действие:

- фиброгенных компонентов аэрозолей, повреждающих эпителиальные ткани;
- ангидридов кислот, оснований и других химически агрессивных веществ, вызывающих воспалительную реакцию;
- токсичных соединений металлов, резорбция которых через повреждённый эпителий может значительно отличаться от резорбции через нативные ткани.

Такое комплексное действие разнообразных химических и биохимических процессов исключительно трудно моделировать в рамках токсикологического эксперимента.

Проблемы оценки качества воздуха рабочей зоны

Считается общепринятой оценка качества как атмосферного воздуха, так и воздуха рабочей зоны по методикам, основанным на формуле А. Г. Аверьянова. В ряде методик используются коэффициенты, учитывающие класс опасности вещества или эмпирически установленные особенности взаимодей-

ствия.

Необходимо отметить, что комбинированное действие нескольких вредных соединений очень мало изучалось. Большая часть исследователей использовала в эксперименте смеси из двух компонентов. При этом было выявлено несколько типов взаимодействия вредных веществ: аддитивное действие, антагонизм и потенцирование.

Например, антагонистами аммиака являются диоксиды азота и серы, хлороводород; антагонистами монооксида углерода – метан, толуол, аммиак. Среди металлов также встречаются пары антагонистов. Обычно ими являются биохимические аналоги, конкуренты за активные центры в переносчиках, ферментах, ионы разнонаправленного действия и т. д. [12].

Цинк и медь при комбинированном воздействии оказываются в 5 раз более токсичными, чем предполагалось бы при аддитивном действии. Также в 5 раз усиливается риск канцерогенного эффекта от бенз(а)пирена и других полициклических углеводородов в присутствии свинца [12]. Коканцерогенное действие доказано для сажи, поверхностно-активных веществ, парафиновых углеводородов. Синканцерогенное действие также выше, чем аддитивное [12].

Во многих случаях эффекты комбинированного действия обнаруживаются только после распространения профессиональных заболеваний или заметного повышения общей заболеваемости специфическими нозологическими формами. Так, массовые заболевания бронхиальной астмой в ряде городов России (Ангарск, Кириши, Волгоград и др.) связывают со строительством и эксплуатацией крупных предприятий по производству белково-витаминных кормов в условиях уже существующего загрязнения воздуха в этих городах от действующих промышленных предприятий [12].

Аддитивное действие различных веществ – это достаточно условное по-

нятие. Любой элемент и любые его соединения не тождественны по химическим свойствам. Тем более они различаются по особенностям поведения в биохимических и физиологических процессах. Общеизвестно, что кальций стимулирует сердечную деятельность и мышечные сокращения, а калий тормозит. Различаются также параметры материальной и функциональной кумуляции, механизмы выведения или метаболического преобразования различных соединений. В практической токсикометрии для получения зависимостей «доза – эффект» используют ограниченное число параметров, значение которых определяется с серьезной погрешностью. В этих условиях можно получить наборы точек, которые с ещё большей погрешностью сводятся к некоторым кривым, по которым делают заключения о возможности простого суммирования показателей.

Многокомпонентные смеси относительно постоянного состава предложено рассматривать как единое вещество и давать интегральную оценку их воздействия на живой организм [8, 9].

Токсичные вещества и фиброгенные пыли, помимо специфических профессиональных заболеваний, вызывают повышение общей заболеваемости работников. При этом общие неспецифические заболевания обычно не учитываются при анализе условий труда. Между тем даже синдром неспецифической повышенной сопротивляемости считается проявлением токсического эффекта. Тем более следствием хронического отравления необходимо считать срыв неспецифической адаптации.

Проблемы гигиенического нормирования многокомпонентных смесей

Важнейшим этапом гигиенического нормирования является определение токсикометрических параметров вещества в эксперименте. Цель эксперимен-

та – нахождение «пороговой», т. е. минимальной эффективной, дозы. Основная методологическая проблема токсикометрии – выбор показателей состояния организма, по которым будет определяться наличие или отсутствие эффекта.

Известно несколько десятков показателей, по которым токсикологи оценивают состояние животных в эксперименте. В зависимости от поставленной задачи выбирают интегральные или специфические показатели. При выборе специфических показателей подразумевают существование мишени – органа, системы или процесса, наиболее чувствительного к исследуемому веществу. Однако многие вещества вызывают универсальные неспецифические биохимические изменения: угнетение дыхания и фосфорилирования в митохондриях, интенсификация перекисного окисления липидов. Неспецифическое действие могут оказывать и металлы. Например, неспецифические реакции адаптации при ингаляции окиси магния проявляются значительно раньше достоверных пороговых токсических эффектов. В тех случаях, когда мишень для какого-нибудь токсичного соединения можно установить, зачастую оказывается, что это лишь одна из многих поврежденных систем. При совместном поступлении многих веществ разнонаправленного действия такая избирательность практически утрачивается, и искать наиболее чувствительные показатели для определения порога специфического действия многокомпонентных смесей в каждом конкретном случае не всегда оправдано. Поэтому нужно считать целесообразным установление комплекса чувствительных интегральных показателей. При этом трудоемкость измерения не должна быть чрезмерно велика. Например, одним из самых чувствительных интегральных показателей состояния нервной системы считается скорость выработки условных рефлексов. Однако практика показывает,

что на слабые стимулы рефлекс вырабатывается слишком медленно, а сильные стимулы могут вызвать стрессовую реакцию, эффект которой перекрывает действие исследуемого вещества.

Серьёзной методологической проблемой является нелинейность динамики изменения параметров состояния организма при воздействии вредного фактора. Большое влияние на эти параметры оказывают процессы адаптации и компенсации.

В токсикологии принято выделять три основные фазы реакции организма на воздействие химических факторов.

1. Фаза первичных реакций. Функциональные системы ещё не сформированы. Организм использует имеющиеся ресурсы. Реакции обычно неспецифичны, часто неэффективны и неадекватны. Изменения показателей непостоянны, характерно нарушение стабильности работы регуляторных систем.

2. Фаза привыкания. Адаптация практически завершена, функциональные системы сформированы. Большая часть показателей стабилизировалась и не отличается от контроля. Для этой фазы характерно «видимое благополучие», которое достигается за счёт перенапряжения компонентов функциональной системы. В классических трудах Ф. З. Меерсона эта фаза соответствует этапу срочной адаптации. Система, специфически ответственная за адаптацию к данному фактору, испытывает напряжение. Гиперфункция этой системы активизирует генетический аппарат клетки и вызывает активацию синтеза соответствующих ферментов.

3. Фаза срыва адаптации, названная Ф. З. Меерсоном стадией «изнашивания» и «локального старения». Перенапряжение функциональной системы приводит к повреждению её компонентов. Развиваются патологические процессы и связанные с ними стойкие изменения как специфических, так и неспецифических показателей.

Таким образом, наблюдая любое

отклонение значения параметра от контроля, исследователь не может с уверенностью определить, к какой фазе это отклонение относится. Кроме того, так как зачастую регистрируются неспецифические параметры, исследователь не может утверждать, что наблюдает реакцию именно на данный фактор. Это особенно актуально при оценке состояния здоровья рабочих, у которых самые разные реакции адаптации могут быть вызваны изменением рациона, характером и интенсивностью нагрузки в дни отдыха, использованием лекарственных препаратов, стимулирующих веществ, алкоголя и т. п.

Необходимо отметить, что в эксперименте неразрешимым противоречием является создание условий использования лабораторных животных. Рекомендуется исследовать линейных, в крайнем случае инбредных животных, находящихся в одинаковых условиях. Содержание всех лабораторных животных в идентичных условиях, например в индивидуальных домиках с искусственным микроклиматом и стандартизованными условиями освещения, кормления и т. п., может значительно снизить уровень неопределённости в конкретном эксперименте. Однако использование результатов такого исследования для прогнозирования эффекта у человека будет сопровождаться ещё большими искажениями.

Учитывая, что коэффициент запаса при определении ОБУВ и ПДК, как правило, составляет не менее 10, можно было бы считать, что эти погрешности компенсируются. Однако было показано, что многокомпонентные пыли, образующиеся при выплавке ферросплавов, на уровне пороговых доз способны вызвать гиперсенситизацию. Поэтому коэффициент запаса должен устанавливаться на уровне 100 и выше [11].

В табл. 1 показаны токсикометрические параметры семи образцов полиметаллических пылей и шлаков ферросплавного производства Челябинского

электрометаллургического комбината.

№ 1 – пыль, образующаяся при выплавке феррохрома ФХ015 в печи № 34.

№ 2 – пыль, образующаяся при выплавке феррохрома ФХ015 в печи № 7.

№ 3 – пыль, образующаяся при выплавке феррохрома ФХ003-010.

№ 4 – пыль, образующаяся при обжиге рудоизвестковой смеси, применяющаяся при выплавке феррохрома ФХ003-010.

№ 5 – пыль, образующаяся при выплавке силикокальция СК15.

№ 6 – шлак саморассыпающийся, образующийся при выплавке силикокальция СК15.

№ 7 – шлак саморассыпающийся, образующийся при выплавке силикокальция СК15, окисленный прокаливанием при 600 °С.

В таблице рассматриваются следующие токсикометрические параметры:

– LD₅₀ в/б, мг/кг – летальная доза, вызывающая гибель 50 % лабораторных животных (крыс «Вистар» питомника «Столбовая») в течение 14 сут после однократного введения взвеси вещества внутрибрюшинно, мг на 1 кг массы тела;

– Lim_{ac} в/б, мг/кг – пороговая доза, вызывающая максимальное напряжение процесса адаптации по комплексу параметров, описанному в [9], за которым следует срыв после однократного введения водной взвеси вещества внутрибрюшинно; мг на 1 кг массы тела;

– Lim_{ac} инг. токсич., мг/м³ – пороговая доза, вызывающая максимальное напряжение процесса адаптации, за которым следует срыв после однократного введения водной взвеси вещества ингаляционно, мг на 1 м³ воздуха;

– Lim_{ac} инг. вдп., мг/м³ – пороговая доза, вызывающая статистически значимое изменение состояния верхних дыхательных путей (миграция лейкоцитов, резорбтивная функция, характер дыхания) после однократного введения взвеси вещества ингаляционно, мг на 1 м³ воздуха;

– K_{кум} по LD₅₀ – коэффициент кумуляции, определяемый по методу Лима на уровне LD₅₀ в/б;

– K_{кум} по Lim_{ac} – коэффициент кумуляции, определяемый по методу Лима на уровне Lim_{ac} в/б.

Табл. 1. Токсикометрические параметры полиметаллических пылей и шлаков

Параметр	Номер образца						
	1	2	3	4	5	6	7
LD ₅₀ в/б, мг/кг	317 ± 28	137 ± 18	183 ± 19	400 ± 71	400 ± 47	1000 ± 472	1500 ± 354
Lim _{ac} в/б, мг/кг	24,0 ± 6	6,8 ± 1,7	4,5 ± 1,1	12,0 ± 3	8,0 ± 2	5,0 ± 1,2	7,5 ± 1,9
Lim _{ac} инг. токсич., мг/м ³	10,5	1,4	1,7	3,4	4,2	0,8	2,1
Порог инг. вдп., мг/м ³	66,9	5,6	14,0	19,6	9,0	Не опр.	Не опр.
K _{кум} по LD ₅₀	5,72	9,42	6,30	8,86	6,12	Не опр.	Не опр.
K _{кум} по Lim _{ac}	0,85	0,85	0,55	0,55	0,30	0,30	0,40

Из табл. 1 следует, что:

1) пыли и шлаки, образующиеся при выплавке одной марки ферросплава, могут значительно отличаться по токсикометрическим параметрам;

2) при относительно высоких LD₅₀

пороговые дозы и концентрации могут быть очень низкими, т. е. прогнозирование вредного действия вещества по среднелетальной дозе может дать ошибку в десятки раз;

3) действие на верхние дыхатель-

ные пути (изменение миграции лейкоцитов, резорбтивная функция слизистой, характер дыхания) отмечается при более высоких концентрациях, чем общетоксическое действие. Поэтому есть основания предполагать, что заболевания пылевой этиологии будут развиваться значительно позже, чем проявление общетоксического действия;

4) коэффициент кумуляции (по методу Лима) на уровне летальных доз весьма велик, что может привести к выбору низких значений коэффициентов запаса. Однако на уровне пороговых доз наблюдается сильная сверхкумуляция, т. е., как уже было сказано ранее, полиметаллические пыли и шлаки вызывают сильную гиперсенситизацию, перенапряжение и срыв защитно-компенсаторных реакций при очень низком (ниже порогового) уровне поступления этих веществ в организм. Это говорит о

том, что при поступлении полиметаллических пылей в организм животных имеет место не материальная, а функциональная кумуляция, т. е. накопление изменений в работе защитно-компенсаторных систем, которые могут привести к резкому изменению состояния здоровья работников уже на уровне субпороговых доз.

Высокий уровень гиперсенситизации доказывает и изменение летальности от LD₅₀ после предварительного однократного введения дозы вещества, меньшей, чем LD₅₀.

В табл. 2 показано количество животных, погибших от LD₅₀ после предварительной затравки. Из таблицы следует, что в большинстве случаев предварительное введение вещества стимулировало реакции адаптации – гибель животных ниже 50 % (гибель в пяти случаях из группы в 10 животных).

Табл. 2. Число животных, погибших от LD₅₀ после предварительного однократного внутрибрюшинного введения соответствующего образца (в знаменателе – число животных, погибших после ингаляционной затравки)

Доза, доля LD ₅₀	Номер образца						
	1	2	3	4	5	6	7
0,002	0	0	0	0	0	1	3
0,003	0	0	0	0	0	0	6
0,005	0	0	0	0	0	0/1	7/7
0,0075	0	0	0	0	0	1	3
0,0125	0	0	0	0	0	1	2
0,02	9	6	10	6	8/8	3	5
0,03	10	4	8/9	1	7	6	6
0,05	9	3/5	10	2	3	8	6
0,075	5/10	2	8	1	1	3	4
0,125	4	0	7	1	0	4	6
0,2	1	1	4	2	1	2	0
0,3	3	0	0	0	0	0	0
0,5	0	0	0	0	0	0	0

Однако на определенном диапазоне доз летальность выше 50 %. Это

подтверждает нелинейность динамики процессов адаптации и гиперсенситизации.

зации.

Таким образом, можно предполагать, что на эффект влияет и режим поступления токсичного вещества. При этом хроническое действие полиметаллической смеси может вызвать более сильную реакцию организма, чем острое действие в той же дозе.

Таким образом, нужно признать, что токсикометрические параметры соединений металлов, полученные в эксперименте и использованные для обоснования ОБУВ и ПДК этих соединений, мало пригодны для прогнозирования вредного действия полиметаллических аэрозолей. Соблюдение гигиенических нормативов, основанных на таких экспериментах, безусловно, необходимо, но недостаточно.

В свою очередь, не представляется целесообразным проведение экспериментов по определению токсикометрических параметров и обоснованию ОБУВ и ПДК для каждого конкретного вида аэрозоля.

Наиболее надёжный метод защиты работников – максимально возможное снижение концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны. Однако увеличение мощности вентиляционных систем требует увеличения затрат на их монтаж и эксплуатацию, а также может сопровождаться возрастанием интенсивности других вредных факторов: шума, электромагнитных полей, статического электричества, неблагоприятных условий микроклимата.

Необходимо разработать простой и надёжный критерий оценки безопасности труда на каждом рабочем месте в конкретных условиях.

Объективным параметром безопасности условий труда является общая и профессиональная заболеваемость рабочих в сравнении с работниками других профессий и с заболеваемостью самого работника до вступления в должность. Однако проанализировать заболеваемость можно только «постфактум», когда патологические изменения уже развились.

Критерий должен быть основан на методике: атравматичной, не отнимающей рабочего времени, не вызывающей негативной реакции у работников, не зависящей от факторов, не связанных с производственным процессом.

Выводы

1. Соблюдение санитарно-гигиенических нормативов содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны необходимо, но не гарантирует сохранение работоспособности и здоровья работников в случае поступления многокомпонентных аэрозолей конденсации, содержащих металлы и их соединения.

2. Необходимо разработать критерии безопасности труда, отражающие реальное состояние здоровья работников до наступления выраженной интоксикации или профессионального заболевания.

3. При расчёте экономической эффективности методов защиты работников (вентиляция, автоматизация производства и др.) рекомендуется учитывать возможные потери от временной нетрудоспособности работников.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Берхеева, З. М. Условия труда и состояние профессиональной заболеваемости работников машиностроительных предприятий / З. М. Берхеева, М. В. Трофимова, А. М. Гиниятова // Медицина труда и экология человека. – 2017. – № 3. – С. 19–24.
2. Борскивер, И. А. Воздействие сварочного аэрозоля на организм электросварщика (ручная дуговая сварка). Рекомендации по измерению / И. А. Борскивер // БИОТ (Безопасность и охрана труда). – 2016. – № 4. – URL: [https://biota.ru/publishing/magazine/bezopasnost-i-oxrana-truda-№4,2016/vozdejstvie-svarochnogo-aerolya-na-organizm-elektrosvarshhika-\(ruchnaya-dugovaya-svarka\).-rekommendaczii-po-izmere](https://biota.ru/publishing/magazine/bezopasnost-i-oxrana-truda-№4,2016/vozdejstvie-svarochnogo-aerolya-na-organizm-elektrosvarshhika-(ruchnaya-dugovaya-svarka).-rekommendaczii-po-izmere)

niyu.- i.-a.-borskiver (дата обращения: 11.08.2024).

3. **Головина, Е. И.** Опасные и вредные факторы литейного производства и их влияние на состояние атмосферы в рабочей зоне / Е. И. Головина // Вестник технологического университета. – 2016. – Т. 19, № 23. – С. 126–130.

4. **Головина, Е. И.** Комплексный анализ вредных и опасных факторов литейного производства и их влияние на безопасность труда / Е. И. Головина, Д. А. Соколов // Безопасность жизнедеятельности. – 2024. – № 1 (277). – С. 9–13.

5. **Гришагин, В. М.** Сварочный аэрозоль: образование, исследование, локализация, применение: монография / В. М. Гришагин. – Томск: Том. политехн. ун-т, 2011. – 213 с.

6. Доклад Министерства труда и социальной защиты Республики Беларусь о соблюдении законодательства о труде и об охране труда в Республике Беларусь в 2019 году. – URL: <https://ohranatruda.of.by/doklad-ministerstva-truda-i-sotsial-noj-zashchity-respubliki-belarus-o-soblyudenii-zakonodatelstva-o-trude-i-ob-okhrane-truda-v-respublike-belarus-v-2019-godu.html> (дата обращения: 11.08.2024).

7. Доклад о соблюдении законодательства о труде и об охране труда в Республике Беларусь в 2022 году. – URL: https://storage.git.gov.by/source/1/fV8SS1u-eseZhaBuX-Nc-zj_9o1lIEjA.pdf (дата обращения: 11.08.2024).

8. **Казачёнок, Н. Н.** Экспресс-метод оценки вредного воздействия отходов металлургического производства / Н. Н. Казачёнок / Научно-методические основы формирования физического и психического здоровья детей и молодежи. 4.1 Валеология, образ жизни и здоровье. – Екатеринбург: Урал. гос. пед. ун-т. – 1996. – С. 38–39.

9. **Казачёнок, Н. Н.** Метод интегральной оценки токсичности отходов производства ферросплавов / Н. Н. Казачёнок, В. А. Костюченко // Гигиена и санитария. – 1996. – № 5. – С. 49–50.

10. Результаты мониторинга условий и охраны труда в Российской Федерации в 2022 году. – URL: https://eisot.rosmintrud.ru/attachment/result_22 (дата обращения: 11.08.2024).

11. **Фомин, Н. А.** Защитно-компенсаторные реакции организма теплокровных животных на воздействие промышленных ксенобиотиков / Н. А. Фомин, Н. Н. Казачёнок // Вестник ЧГПУ. Серия 4. – 1999. – № 3. – С. 187–195.

12. **Чеснокова, С. М.** Основы токсикологии и экотоксикологии : учеб. пособие / С. М. Чеснокова, О. В. Савельев. – Владимир: ВлГУ, 2019. – 132 с.

13. Численность работников Республики Беларусь, занятых в условиях воздействия вредных производственных факторов, не отвечающих гигиеническим нормативам, а также тяжелым физическим и напряженным трудом, за 2023 год. – URL: https://www.mintrud.gov.by/ru/gosudarstvennaya_statisticheskaya_otchetnost (дата обращения: 11.08.2024).

Статья сдана в редакцию 2 сентября 2024 года

Контакты:

kazachenok.nina@mail.ru (Казачёнок Нина Николаевна).

N. N. KAZACHONOK

PROBLEMS OF PREDICTING HARMFUL EFFECTS OF POLYMETALLIC AEROSOLS IN VARIOUS MECHANICAL ENGINEERING INDUSTRIES

Abstract

The paper shows that the hygienic standards established for individual compounds do not take into account the specifics of combined action and are of little use for predicting the harmful effects of real polymetallic aerosols formed in workplaces in various branches of mechanical engineering. Such aerosols may exhibit the ability to overcumulate and hypersensitize at the level of sub-threshold doses. It is necessary to develop criteria for early detection of the harmful effects of such aerosols on the health of workers in specific workplaces.

Keywords:

polymetallic aerosols, occupational safety in mechanical engineering, toxicometric parameters, lethal doses, threshold doses, cumulation, overcumulation.

For citation:

Kazachonok, N. N. Problems of predicting harmful effects of polymetallic aerosols in various mechanical engineering industries / N. N. Kazachonok // Belarusian-Russian University Bulletin. – 2024. – № 4 (85). – P. 85–93.

Охрана труда. Охрана окружающей среды. Экология