



Комплексная гигиеническая оценка пылевого фактора в производстве асбестоцементных изделий

© Е. А. Гутич

Научно-практический центр гигиены, г. Минск, Республика Беларусь

РЕЗЮМЕ

Цель исследования: провести комплексные гигиенические исследования пылевого фактора в производстве асбестоцементных изделий и установить наличие связи между содержанием респираторных волокон и массовой концентрацией взвешенных частиц для актуализации методологии оценки воздуха рабочей зоны, содержащего минеральные волокнистые аэрозоли.

Материалы и методы. Проведен анализ массовых концентраций пыли и содержания респираторных волокон в воздухе рабочей зоны, морфологических особенностей пылевого аэрозоля.

Результаты. Содержание пыли в воздухе рабочей зоны по показателям массы взвешенных частиц не превышает гигиенических нормативов и колеблется от $0,20 \pm 0,004$ мг/м³ до $1,47 \pm 0,085$ мг/м³, а содержание респираторных волокон составляет от $0,20 \pm 0,044$ вол/см³ до $1,13 \pm 0,204$ вол/см³. Установлено наличие положительной корреляционной связи умеренной силы между концентрацией респираторных волокон и концентрацией массы взвешенных частиц.

Заключение. Микроскопия препаратов образцов пыли позволяет определить характерную для различных стадий технологического процесса морфологическую картину. Существует положительная корреляционная связь умеренной силы между концентрацией респираторных волокон в воздухе рабочей зоны и концентрацией взвешенных частиц, но полученные модели зависимости способны объяснить до 49,3 % вариации концентрации респираторных волокон на основании концентрации массы взвешенных частиц, что не позволяет использовать их для пересчета одних величин в другие.

Ключевые слова: асбест, хризотил, асбестоцементные изделия, промышленные аэрозоли, воздух рабочей зоны, условия труда, профессиональный риск.

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Источники финансирования: исследование проведено без спонсорской поддержки.

Для цитирования: Гутич ЕА. Комплексная гигиеническая оценка пылевого фактора в производстве асбестоцементных изделий. *Проблемы здоровья и экологии*. 2021;18(2):119-125. <https://doi.org/10.51523/2708-6011.2021-18-2-17>

Comprehensive hygienic assessment of the dust factor in the asbestos cement manufacturing industry

© Katsiaryna A. Hutsich

Scientific Practical Centre of Hygiene, Minsk, Belarus

ABSTRACT

Objective: to conduct comprehensive hygienic studies of the dust factor in the asbestos cement manufacturing industry and to determine the presence of a relationship between the content level of respirable fibres and the mass concentration of suspended particles in order to actualize the methodology of the assessment of the air of a working area containing mineral fibrous aerosols.

Materials and methods. The mass concentrations of dust and the content level of respirable fibres in the air of the working area and the morphological characteristics of dust aerosol were analyzed.

Results. The content of dust in the air of the working area in terms of the mass measurements of suspended particles does not exceed the hygienic standards and ranges from 0.20 ± 0.004 mg/m³ to 1.47 ± 0.085 mg/m³, and the content level of respirable fibres is from 0.20 ± 0.044 f/cm³ to 1.13 ± 0.204 f/cm³. The presence of a positive correlation of moderate strength between the content level of respirable fibres and the mass concentration of suspended particles has been found.

Conclusion. The microscopy of the preparations of dust samples makes it possible to determine a morphological picture which is characteristic for various stages of the technological process. There is a positive correlation

of moderate strength between the content level of respirable fibres in the air of the working area and the concentration of suspended particles. However, the obtained patterns of dependence are capable of accounting up to 49.3 % of the variations of respirable fibres on the basis of the mass concentration of suspended particles, which does not make it possible to use them for the conversion of the values.

Key words: *asbestos, chrysotile, asbestos cement products, industrial aerosols, air of working area, working conditions, occupational risk.*

Conflict of interests: author declares no conflict of interest.

Funding: study conducted without sponsorship.

For citation: Hutsich KA. Comprehensive hygienic assessment of the dust factor in the asbestos cement manufacturing industry. *Health and Ecology Issues*. 2021;18(2):119–125. (In Russ.). <https://doi.org/10.51523/2708-6011.2021-18-2-17>

Введение

Промышленные аэрозоли являются одним из наиболее значимых факторов профессионального риска здоровью, и среди них особое место занимают аэрозоли минеральных волокон [1–3]. К наиболее распространенным видам таких аэрозолей относят силикатсодержащие пыли (асбест), пыль искусственных минеральных волокон (стекловолокно, искусственные минеральные ваты — шлаковая, базальтовая и др.).

Отдельные виды асбеста являются причиной профессиональной онкологии, в том числе могут обуславливать до 90 % случаев злокачественной мезотелиомы, что стало основанием для запрета его использования во многих странах мира [4, 5]. Однако в ряде стран, в том числе и в Республике Беларусь, при производстве асбестоцементных изделий (АЦИ) применяется хризотилковый асбест, не обладающий выраженной канцерогенной активностью, и решение проблемы безопасности при его использовании основывается на разработке и внедрении комплексных профилактических мероприятий, предусматривающих, в первую очередь, поддержание концентрации аэрозоля в воздухе рабочей зоны на гигиенически допустимом уровне.

Существовавшие до недавнего времени в Республике Беларусь подходы к гигиеническому нормированию и оценке аэрозолей минеральных волокон в воздухе рабочей зоны не учитывали всех особенностей их биологического действия по сравнению с другими видами фиброгенной пыли, так как основаны на определении только массы пыли без учета респираторной фракции волокон, определяющих канцерогенное действие данного аэрозоля. Поэтому данные о содержании респираторных волокон в воздухе рабочей зоны предприятий по производству асбестоцементных изделий отсутствуют, что не позволяет провести комплексную оценку пылевого фактора, а также ограничивает возможности сравнения профессионального

риска, связанного с их воздействием, с результатами, полученными в других странах.

Вышеизложенное определяет необходимость совершенствования оценки пылевого фактора и разработки подходов к гигиенической оценке воздуха рабочей зоны, загрязненного аэрозолями минеральных волокон, предусматривающих одновременный учет респираторной фракции пыли, определяющей канцерогенные риски, и общей массы взвешенных частиц, определяющей их фиброгенный потенциал.

Цель исследования

Провести комплексные гигиенические исследования пылевого фактора в производстве асбестоцементных изделий и установить наличие связи между содержанием респираторных волокон и массовой концентрацией взвешенных частиц для актуализации методологии оценки воздуха рабочей зоны, содержащего минеральные волокнистые аэрозоли.

Материалы и методы

Исследования выполнены на базе ведущего в Республике Беларусь производства АЦИ на основе хризотилового асбеста — ОАО «Красносельскстройматериалы».

Для оценки пылевого фактора проведен анализ массовых концентраций пыли и содержания респираторных волокон в воздухе рабочей зоны производства асбестоцементных изделий. Исследование загрязнения воздуха рабочей зоны по массе взвешенных частиц проведено при помощи гравиметрического метода оценки содержания аэрозолей, обладающих фиброгенным действием [6]. Пробоподготовка и оптическая микроскопия образцов для определения количества респираторных волокон проводилась с использованием общих международных подходов, предложенных ВОЗ [7], Национальным институтом охраны труда

США [8], Управлением по вопросам охраны здоровья, техники безопасности и охраны труда Великобритании [9], Научно-исследовательским и проектно-конструкторским институтом асбестовой промышленности (Российская Федерация) [10].

Гармонизированная схема отбора проб воздуха включала одновременный отбор шести проб на мембранные многослойные фильтры из смеси эфиров и нитрата целлюлозы для последующего микроскопирования и определения количества респираторных волокон в пробе и трех проб на фильтры аэрозольные АФА-ВП20 для определения навески всей массы пыли. Отбор проб на мембранные фильтры проводился со скоростями: 0,5 л/мин, 1 л/мин, 2 л/мин, 3 л/мин, 4 л/мин, 5 л/мин, а отбор проб на фильтры аэрозольные АФА-ВП-20 со скоростью 20 л/мин. Всего отобрано 77 проб для определения количества респираторных волокон и 231 проба — для определения массовых концентраций пыли.

Для микроскопии подготовленных препаратов использовали фазово-контрастный метод и программное обеспечение для визу-

ализации изображения с возможностью выполнения линейных измерений объектов.

Статистическая обработка и анализ полученных данных проводились с использованием пакета статистических программ «Statistica», 13. Для анализа связи между признаками использовали корреляционный анализ с расчетом коэффициентов корреляции. Для построения моделей зависимости признаков использовали линейный регрессионный анализ и методы нелинейного анализа. Результаты исследования считали достоверными при вероятности безошибочного прогноза не менее 95,5 % ($p < 0,05$).

Результаты и обсуждение

Проведенные исследования позволили установить, что содержание волокон хризотилового асбеста в воздухе рабочей зоны по показателям массы взвешенных частиц не превышает гигиенических нормативов и колеблется от $0,20 \pm 0,004$ мг/м³ на рабочем месте стропальщика до $1,47 \pm 0,085$ мг/м³ — на рабочем месте дозировщика асбеста (таблица 1).

Таблица 1. Массовая концентрация пыли в воздухе рабочей зоны

Наименование рабочего места	n	мг/м ³	
		M ± m	min-max
Р. м. дозировщика асбеста	75	1,47 ± 0,085	0,44–1,89
Р. м. машиниста трубной машины	78	0,27 ± 0,025	0,16–0,63
Р. м. смесительщика	33	0,85 ± 0,113	0,27–1,11
Р. м. стропальщика	39	0,20 ± 0,004	0,19–0,23
Р. м. токаря по обработке асбестоцементных изделий	6	0,52 ± 0,003	0,51–0,53

В целом, анализ результатов микроскопии показал, что пыль в воздухе рабочей зоны характеризуется полидисперсным составом, частицы имеют различную окраску — от светлых тонов до непрозрачных, имеют неправильную полиморфную форму (столбики, кубы, кристаллы, чешуйки, волокна), с неровными, часто заостренными краями. Волокна асбеста выглядят подсвеченными в фазовом контрасте, представлены одиночными волокнами и располагаются пучками, часто прикреплены к зернистым частицам.

Морфологический анализ препаратов образцов пыли, отобранных из воздуха рабочей зоны цеха, также позволил выявить характерные особенности образования пылевого фактора на различных стадиях технологического процесса. Исследованные препараты, полученные из образцов пыли на рабочем

месте дозировщика асбеста, характеризуются наличием большого количества крупных зернистых частиц неправильной формы, покрывающих значительную часть поля зрения, а также волокон хризотила различных размерностей (рисунок 1).

Данные особенности морфологической картины обусловлены стадией технологического процесса — дозирование асбеста, которая сопровождается интенсивным пылеобразованием при расшивке мешков и заполнении дозаторов. На данной стадии производственного процесса в воздухе рабочей зоны обнаруживаются и наибольшие значения среднесменной концентрации взвешенных частиц, определяемых гравиметрическим методом. Высокая загрузка фильтра неволоконистыми пылевыми частицами обуславливает необходимость учета данного фак-

та при отборе проб и снижения общих объемов протягиваемого через фильтр воздуха для лучшей визуализации поля зрения при подсчете респираторных волокон на препарате.

Препараты, полученные при отборе проб воздуха на рабочем месте смесительщика, характеризуются меньшим количеством крупных зернистых частиц, однако в образцах обнаруживается большое количество мелких зерен пыли, которые также покрывают значительную площадь поверхности фильтра (рисунок 2).

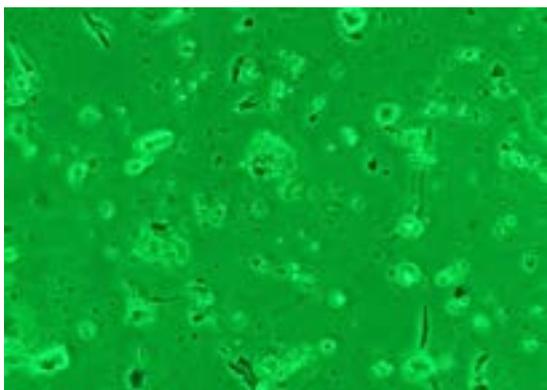


Рисунок 1. Препарат образца витающей пыли, отобранного из воздуха рабочей зоны дозировщика асбеста (объем пробы — 150 л, увеличение: ×400)

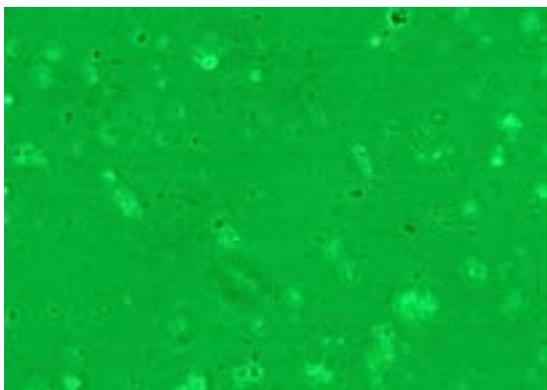


Рисунок 2. Препарат образца витающей пыли, отобранного из воздуха рабочей зоны смесительщика (объем пробы — 150 л, увеличение: ×400)

Уменьшение содержания более крупных фракций пыли и увеличение количества более мелких пылевых частиц также связано с технологическим процессом: распушка асбеста и перемешивание его с цементом происходит в турбосмесителях (закрытый технологический процесс), и пылевыделение в воздух рабочей зоны в основном происходит при осуществлении контроля через специальные шлюзы, а также в результате перемешивания воздушных масс в открытом пространстве цеха и вторичного пылеобразования.

Количество зернистых частиц на препаратах, полученных из образцов пыли на рабочем месте машиниста трубной машины, также было значительным (рисунок 3).

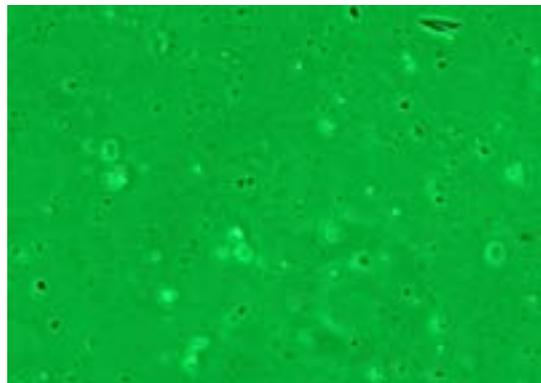


Рисунок 3. Препарат образца витающей пыли, отобранного из воздуха рабочей зоны машиниста трубной машины (объем пробы — 150 л, увеличение: ×400)

Кроме того, отмечаются неравномерные затемнения по всей поверхности фильтра, что, очевидно, связано со сменой технологического процесса на данном рабочем месте: в отличие от «сухого» пыления при растаривании мешков и получения смеси асбеста с цементом на рабочих местах дозировщика асбеста и смесительщика, на этапе формирования асбестоцементных труб машинист имеет дело с влажной асбестоцементной массой, что не исключает пылеобразования, в том числе вторичного.

Препараты, полученные из образцов пыли на рабочем месте токаря по обработке асбестоцементных изделий, характеризуются большим количеством мелких непрозрачных частиц в поле зрения и неравномерными затемнениями по всей поверхности фильтра, что также связано с процессом обточка асбестоцементных изделий, сопровождающейся образованием большого количества мелких пылевых частиц (рисунок 4).



Рисунок 4. Препарат образца витающей пыли, отобранного из воздуха рабочей зоны токаря по обработке асбестоцементных изделий (объем пробы — 150 л, увеличение: ×400)

Концентрация респираторных волокон в воздухе рабочей зоны цеха составила от 0,20 ± 0,044 вол/см³ на рабочем месте машиниста

трубной машины до 1,13 ± 0,204 вол/см³ — на рабочем месте смесительщика (таблица 2).

Таблица 2. Концентрация респираторных волокон хризотила в воздухе рабочей зоны

Наименование рабочего места	n	вол/см ³	
		M ± m	min-max
Р. м. дозировщика асбеста	25	0,87 ± 0,083	0,35–1,61
Р. м. машиниста трубной машины	26	0,20 ± 0,044	0,06–1,14
Р. м. смесительщика	11	1,13 ± 0,204	0,20–2,37
Р. м. стропальщика	13	0,22 ± 0,066	0,04–0,78
Р. м. токаря по обработке асбестоцементных изделий	2	0,72 ± 0,133	0,59–0,85

Анализ зависимости концентрации респираторных волокон от концентрации массы взвешенных частиц позволил установить наличие положительной корреляционной связи умеренной силы ($r = 0,63$, $p < 0,001$). Однако коэффициент детерминации линейной модели зависимости (R^2) составляет 0,400. Это говорит о том, что доля вариации концентрации респираторных волокон, которую способна объяснить данная модель на основании концентрации массы взвешенных частиц, составляет 40,0 % (рисунок 5).

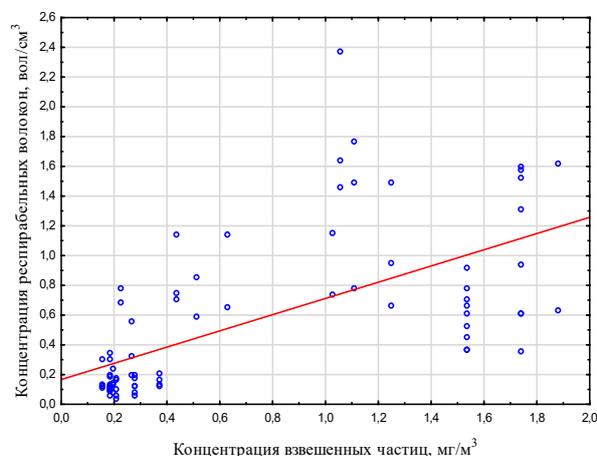


Рисунок 5. Линейная зависимость концентрации респираторных волокон хризотила от среднесменной концентрации массы взвешенных частиц

Полученная с помощью линейного регрессионного анализа модель зависимости статистически значима ($F = 49,99$, $p < 0,001$) и описывается уравнением:

$$y \text{ (вол/см}^3\text{)} = 0,167 + 0,545 \times x \text{ (мг/м}^3\text{)}$$

В результате нелинейной регрессии построена модель зависимости признаков с коэффициентом детерминации (R^2) 0,493 (рисунок 6).

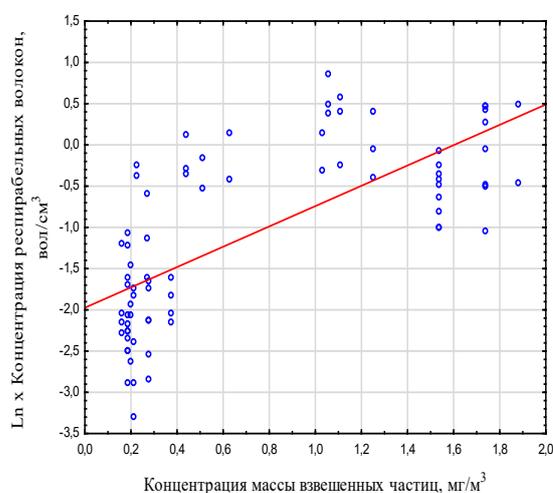


Рисунок 6. Модель нелинейной зависимости концентрации респираторных волокон хризотила от среднесменной концентрации массы взвешенных частиц

Полученная модель нелинейной зависимости статистически значима ($F = 74,92$, $p < 0,001$) и описывается уравнением:

$$y \text{ (вол/см}^3\text{)} = e^{-1,974 + 1,232 \times x \text{ (мг/м}^3\text{)}}$$

Заключение

Таким образом, проведенный анализ пылевого фактора в производстве строительных изделий на основе хризотилового асбеста позволил сделать следующие выводы.

Существует положительная корреляционная связь умеренной силы между концентрацией респираторных волокон хризотила в воздухе рабочей зоны цеха асбестоцементных изделий и концентрацией взвешенных частиц ($r = 0,63$, $p < 0,001$). Полученная с помощью линейного регрессионного анализа модель зависимости объясняет только 40,0 % вариации концентрации респираторных волокон хризотила на основании концентрации массы взвешенных частиц, что не

позволяет использовать данную модель для пересчета одних величин в другие.

Предложена нелинейная регрессионная модель зависимости концентрации респираторных волокон хризотила в воздухе рабочей зоны цеха асбестоцементных изделий и концентрацией взвешенных частиц с коэффициентом детерминации (R^2) 0,493, однако использование полученного уравнения регрессии для пересчета концентраций также недостаточно надежно.

Микроскопия препаратов образцов пыли, отобранных из воздуха рабочей зоны цеха асбестоцементных изделий, позволяет

определить характерную для различных стадий технологического процесса морфологическую картину, что представляется важным при оценке потенциального профессионального риска пылевого воздействия у работников разных профессий производства АЦИ.

Полученные результаты, характеризующие различия дисперсионного состава пыли на различных этапах технологического процесса, могут быть использованы при проектировании санитарно-технических систем очистки воздуха разных участков технологической цепи производства АЦИ.

Список литературы

1. Wagner GR. *Screening and surveillance of workers exposed to mineral dusts*. Geneva: WHO; 1996. 68 p.
2. Mandrioli D, Schlünssen V, Adam B, Cohen RA, Colosio C, Chen W, et al. WHO/ILO work-related burden of disease and injury: Protocol for systematic reviews of occupational exposure to dusts and/or fibres and of the effect of occupational exposure to dusts and/or fibres on pneumoconiosis. *Environ Int*. 2018;119:174-185. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.06.005>
3. Aleksynska M, Berg J, Foden D, Johnston H, Parent-Thirion A, Vanderleyden J. *Working conditions in a global perspective*. Luxembourg: Publications Office of the European Union; Geneva: International Labour Organization; 2019. 196 p.
4. Furuya S, Chimed-Ochir O, Takahashi K, David A, Takala J. Global asbestos disaster. *Int J Environ Res Public Health*. 2018 May;15(5):1000. <https://doi.org/10.3390/ijerph15051000>
5. Gualtieri AF. Towards a quantitative model to predict the toxicity/pathogenicity potential of mineral fibers. *Toxicol Appl Pharmac*. 2018;361:89-98. <https://doi.org/10.1016/j.taap.2018.05.012>
6. Методические указания № 4436-87. Измерение концентрации аэрозолей преимущественно

фиброгенного действия: утв. М-вом здравоохранения СССР 18.11.1987. Москва, РФ; 1988. 28 с.

7. *Determination of airborne fiber number concentrations. A recommended method by phase-contrast optical microscopy (membrane filter method)*. Geneva: WHO; 1997. 53 p.

8. Asbestos and other fibers by PCM: method 7400. In: *National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). NIOSH Manual of Analytical Methods*. 5th ed. [Electronic resource]. [Date of access: 2020 December 17]. Available from: <https://www.cdc.gov/niosh/nmam/pdf/7400.pdf>

9. MDHS 59/2. Machine-made fibres. Airborne number concentration and classification by phase contrast light microscopy. In: *Methods for the Determination of Hazardous Substances: guidance* [Electronic resource]. [Date of access: 2020 December 4]. Available from: <http://www.hse.gov.uk/pubns/mdhs/pdfs/mdhs59-2.pdf>

10. МВИ М-1-2006. Методика выполнения измерений счетной концентрации волокон в атмосферном воздухе: утв. Ген. директором ОАО «Науч.-исслед. и проектно-конструкт. ин-т асбестовой промышленности». Асбест; 2006. 23 с.

References

1. Wagner GR. *Screening and surveillance of workers exposed to mineral dusts*. Geneva: WHO; 1996. 68 p.
2. Mandrioli D, Schlünssen V, Adam B, Cohen RA, Colosio C, Chen W et al. WHO/ILO work-related burden of disease and injury: Protocol for systematic reviews of occupational exposure to dusts and/or fibres and of the effect of occupational exposure to dusts and/or fibres on pneumoconiosis. *Environ Int*. 2018;119:174-85. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.06.005>
3. Aleksynska M, Berg J, Foden D, Johnston H, Parent-Thirion A, Vanderleyden J. *Working conditions in a global perspective*. Luxembourg: Publications Office of the European Union; Geneva: International Labour Organization; 2019. 196 p.
4. Furuya S, Chimed-Ochir O, Takahashi K, David A, Takala J. Global asbestos disaster. *Int J Environ Res Public Health*. 2018;15(5):1000. <https://doi.org/10.3390/ijerph15051000>
5. Gualtieri AF. Towards a quantitative model to predict the toxicity/pathogenicity potential of mineral fibers. *Toxicol Appl Pharmac*. 2018;361:89-98. <https://doi.org/10.1016/j.taap.2018.05.012>
6. Guidelines No 4436-87. Measurement of aerosol concentration with predominantly fibrogenic action:

approved by the USSR Ministry of Health on November 18, 1987. Moscow, RF; 1988. 28 p. (in Russ.)

7. *Determination of airborne fiber number concentrations. A recommended method by phase-contrast optical microscopy (membrane filter method)*. Geneva; 1997. 53 p.

8. Asbestos and other fibers by PCM: method 7400. In: *National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). NIOSH Manual of Analytical Methods*. 5th ed. [Electronic resource]. [Date of access: 2020 December 17]. Available from: <https://www.cdc.gov/niosh/nmam/pdf/7400.pdf>

9. MDHS 59/2. Machine-made fibres. Airborne number concentration and classification by phase contrast light microscopy. In: *Methods for the Determination of Hazardous Substances: guidance* [Electronic resource]. [Date of access: 2020 December 4]. Available from: <http://www.hse.gov.uk/pubns/mdhs/pdfs/mdhs59-2.pdf>

10. MVI M-1-2006. Methods for measuring the counting concentration of fibers in the atmospheric air: approved by the General Director of JSC «Scientific Research and the Design Institute for the Asbestos Industry». Asbest; 2006. 23 p. (in Russ.)

Информация об авторе / Information About the Author

Гутич Екатерина Андреевна, заведующий лабораторией гигиены труда, РУП «Научно-практический центр гигиены»; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1910-6556>; e-mail: ekhutsich@gmail.com

Katsiaryna A. Hutsich, Head of the Occupational Hygiene Laboratory, Republican Unitary Enterprise "Scientific Practical Centre of Hygiene"; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1910-6556>; e-mail: ekhutsich@gmail.com

Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

Гутич Екатерина Андреевна
e-mail: ekhutsich@gmail.com

Katsiaryna A. Hutsich
e-mail: ekhutsich@gmail.com

Received / Поступила в редакцию 29.01.2021

Revised / Поступила после рецензирования 18.05.2021

Accepted / Принята к публикации 16.06.2021