

DOI: <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2021-61-2-77-83>

УДК 613.6:691.27

© Гутич Е.А., 2021

Гутич Е.А.

Комплексная гигиеническая оценка пылевого фактора в производстве теплоизоляционных строительных изделий на основе искусственных минеральных волокон

РУП «Научно-практический центр гигиены», ул. Академическая, 8, Минск, Республика Беларусь, 220012

Введение. Загрязнение воздушной среды аэрозолями волокнистой структуры в производствах теплоизоляционных материалов является основным неблагоприятным производственным фактором, который может повышать риски развития целого ряда заболеваний различных органов и систем. Это определяет актуальность проведения комплексных исследований пылевого фактора на таких производствах с оценкой связи массовых и счётных концентраций пыли, разработки целенаправленных мер профилактики с учётом особенностей технологического процесса.

Цель исследования — провести комплексные гигиенические исследования пылевого фактора в производстве теплоизоляционных изделий на основе базальтового волокна и определить морфологические особенности пыли на разных стадиях технологического процесса, наличие связи между содержанием респираторных волокон и массовой концентрацией взвешенных частиц в воздухе рабочей зоны.

Материалы и методы. Исследования проведены на базе цеха по производству теплоизоляционных плит из минеральной ваты на основе базальтового волокна. Для оценки пылевого фактора проведён анализ массовых концентраций пыли и содержания респираторных волокон в воздухе рабочей зоны с использованием метода оптической фазово-контрастной микроскопии. Для изучения зависимости массовых и счётных концентраций пыли использован линейный регрессионный анализ.

Результаты. Содержание искусственных минеральных волокон в воздухе рабочей зоны по показателям массы взвешенных частиц не превышает гигиенических нормативов и колеблется от 0,51 мг/м³ до 1,19 мг/м³, а содержание респираторных волокон составляет от 0,45 вол/см³ до 1,23 вол/см³. Морфологический анализ препаратов образцов пыли, собранной на фильтры из воздуха рабочей зоны, позволил выявить характерные особенности состава пыли на различных стадиях технологического процесса. Установлено наличие положительной корреляционной связи слабой силы между концентрацией респираторных волокон в воздухе рабочей зоны и концентрацией массы взвешенных частиц. Полученная модель зависимости статистически значима, однако коэффициент детерминации данной модели (R^2) составляет 0,043. Концентрация респираторных волокон в первой фазе производственного цикла значимо выше, чем во второй, при этом массовые концентрации всех витающих в воздухе рабочей зоны пылевых частиц не имеют достоверных отличий в разные фазы производственного цикла.

Выводы. Существует положительная корреляционная связь слабой силы между концентрацией респираторных волокон минеральной ваты в воздухе рабочей зоны цеха и массовой концентрацией взвешенных частиц, но полученная модель линейной регрессии способна объяснить только 4,3% вариации концентрации респираторных волокон на основании массовой концентрации взвешенных частиц, что не позволяет использовать данную модель для пересчёта одних величин в другие. Микроскопия препаратов образцов пыли позволяет определить характерную для различных стадий технологического процесса морфологическую картину, а концентрация респираторных волокон в воздухе рабочей зоны зависит от фазы производственного цикла. Полученные данные могут быть использованы при проектировании санитарно-технических систем очистки воздуха и режимов их работы на различных этапах технологического процесса.

Ключевые слова: производство минеральной ваты; искусственные минеральные волокна; промышленные аэрозоли; воздух рабочей зоны; условия труда; профессиональный риск

Для цитирования: Гутич Е.А. Комплексная гигиеническая оценка пылевого фактора в производстве теплоизоляционных строительных изделий на основе искусственных минеральных волокон. *Мед. труда и пром. экол.* 2021; 61(2): 77–83. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2021-61-2-77-83>

Для корреспонденции: Гутич Екатерина Андреевна, зав. лаб. гигиены труда республиканского унитарного предприятия «Научно-практический центр гигиены». E-mail: ekhutsich@gmail.com

Финансирование. Исследование выполнено в рамках отраслевой научно-технической программы «Здоровье и среда обитания», финансируемой Министерством здравоохранения Республики Беларусь и республиканским унитарным предприятием «Научно-практический центр гигиены».

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Дата поступления: 17.02.2021 / Дата принятия к печати: 19.02.2021 / Дата публикации: 15.03.2021

Katsiaryna A. Hutsich

Comprehensive hygienic assessment of the dust factor in the manufacturing heat-insulating building products from man-made mineral fibers

Republican Unitary Enterprise «Scientific practical center of hygiene», 8, Akademicheskaya Str., Minsk, Republic of Belarus, 220012

Introduction. Air pollution with aerosols of mineral fibers in the manufacturing heat-insulating building products is the primary harmful production factor that can increase the risks of developing several diseases of various organs and systems. It determines the relevance of conducting comprehensive studies of the dust factor in such industries, assessing the relationship between mass measurements and fibre counts, the development of targeted preventive measures, considering the features of the technological process.

The study aims to conduct comprehensive hygienic studies of the dust factor in the manufacturing heat-insulating building products from basalt fiber and determine the morphological features of dust at different stages of the technological process, the presence of a relationship between mass measurements and fibre counts.

Materials and methods. The studies were carried out based on manufacturing heat-insulating building products from basalt

fiber. To assess the dust factor, the authors carried out the analysis of mass measurements of dust and fibre counts using phase-contrast light microscopy. The authors used linear regression analysis to study the dependence of the mass measurements and fibre counts.

Results. The mass measurements of dust in the working area don't exceed hygienic standards and ranges from 0.51 mg/m³ to 1.19 mg/m³, and the fibre counts are from 0.45 f/cm³ to 1.23 f/cm³. The morphological analysis of the dust samples' preparations collected on filters from the air of the working area made it possible to reveal the characteristic features of the composition of the dust at various stages of the technological process. The study confirmed a positive correlation of weak strength between fibre counts and the mass measurements. The resulting dependence model is statistically significant, but the coefficient of determination of this model (R^2) is 0.043. Fibre counts in the first phase of the production cycle are significantly higher than in the second. Simultaneously, the mass measurements do not have significant differences in different phases of the production cycle.

Conclusions. *There is a positive correlation of weak strength between fibre counts and mass measurements, but the resulting linear regression model can explain only 4.3% of the variation of fibre counts based on the mass measurements, which does not allow using this model for converting of the results of measurements of several particles.*

Microscopy of dust preparations makes it possible to determine the morphological picture characteristic of various stages of the technological process. Fibre counts depend on the phase of the production cycle. The data obtained can be used to design air purification systems and operating modes at various stages of the technological process.

Keywords: mineral wool production; man-made mineral fibers; industrial aerosols; work area air; working conditions; occupational risk

For citation: Hutsich K.A. Comprehensive hygienic assessment of the dust factor in the manufacturing heat-insulating building products from man-made mineral fibers. *Med. truda i prom. ekol.* 2021; 61(2): 77–83. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2021-61-2-77-83>

For correspondence: Katsiaryna A. Hutsich, Head of Occupational Hygiene Laboratory Republican Unitary Enterprise «Scientific practical centre of hygiene». E-mail: ekhutsich@gmail.com

Information about author: Hutsich K.A. <https://orcid.org/0000-0002-1910-6556>

Funding. The study was a part of the scientific and technical program "Health and Habitat", funded by the Ministry of Health of the Republic of Belarus and the Republican Unitary Enterprise "Scientific practical centre of hygiene".

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

Received: 17.02.2021 / Accepted: 19.02.2021 / Published: 15.03.2021

Введение. Промышленные аэрозоли традиционно занимают ведущее место в числе неблагоприятных факторов производственной среды для многих профессиональных групп работников, а удельный вес профессиональной патологии, вызванной воздействием промышленных аэрозолей по-прежнему высок во многих странах мира [1–3]. Пылевые заболевания лёгких фиброзного характера, вызываемые длительным вдыханием кремнийсодержащей пыли на рабочих местах, имеют тяжёлое, трудно поддающееся лечению и, как правило, необратимое течение, часто с потерей трудоспособности лиц в активном трудовом возрасте, что обуславливает большое социальное значение данной патологии [4–6]. При этом для работающих, имеющих контакт с аэрозолями искусственных минеральных волокон, пылевой фактор определяет значительную долю общего профессионального риска здоровью, так как данный тип аэрозолей обладает не только фиброгенным действием, но способен вызывать и целый ряд специфических биологических эффектов, в том числе генотоксическое и цитотоксическое действие. Рядом исследований также показана связь воздействия минеральных волокон с развитием злокачественной мезотелиомы плевры и раком лёгкого [5–11]. С влиянием искусственных минеральных волокон также связывают высокий риск развития патологии сердечно-сосудистой системы [12], гиперкератозов с высокой вероятностью малигнизации [13], контактных дерматитов [14, 15].

Производство минеральной ваты на основе базальта является активно развивающейся отраслью промышленности, что подтверждают данные официальной статистики Республики Беларусь, согласно которой объёмы производства минеральной ваты с 2005 по 2019 г. в республике возросли на 227,2% [16–18].

В связи с этим организация технологических процессов, отвечающих гигиеническим требованиям, разработка

рациональных подходов к гигиеническому нормированию и контролю содержания аэрозолей в воздухе рабочей зоны с учётом особенностей организации труда и аппаратурного оформления технологических процессов в производствах строительных изделий на основе искусственных минеральных волокон является важным и приоритетным направлением профилактических мероприятий в данной отрасли промышленности.

Цель исследования — провести комплексные гигиенические исследования пылевого фактора в производстве теплоизоляционных изделий на основе базальтового волокна и определить морфологические особенности пыли на разных стадиях технологического процесса, наличие связи между содержанием респираторных волокон и массовой концентрацией взвешенных частиц в воздухе рабочей зоны.

Материалы и методы. Исследования проведены на базе крупнейшего в Республике Беларусь предприятия по производству строительных материалов, в том числе теплоизоляционных плит из минеральной ваты на основе базальтового волокна — ОАО «Гомельстройматериалы» (г. Гомель).

Для оценки пылевого фактора проведён анализ массовых концентраций пыли и содержания респираторных волокон в воздухе рабочей зоны цеха по производству теплоизоляционных изделий.

Исследование загрязнения воздуха рабочей зоны по массе взвешенных частиц произведено при помощи гравиметрического метода оценки содержания аэрозолей, обладающих фиброгенным действием¹.

Пробоподготовка и оптическая микроскопия образцов для определения количества респираторных волокон

¹ МУ № 4436-87. Измерение концентрации аэрозолей преимущественно фиброгенного действия: метод. указ.: утв. М-вом здравоохранения СССР 18.11.1987. М.; 1988.

Таблица 1 / Table 1

Массовая концентрация пыли в воздухе рабочей зоны цеха по производству теплоизоляционных материалов
Mass concentration of dust in the air of working area in the workshop for the thermal insulation materials production

Точка отбора проб, наименование рабочего места	n	Концентрация пыли, мг/м ³	
		Среднее	min-max
Ваграночное отделение. Р.м. вагранщика	60	0,70	0,36–1,69
Сортировка плит. Р.м. сортировщика (упаковщика) теплоизоляционных материалов	114	0,51	0,23–1,19
Площадка у стола охлаждения. Р.м. слесаря по ремонту и обслуживанию систем вентиляции и кондиционирования. Р.м. машиниста вентиляционных и аспирационных установок. Р.м. сортировщика (упаковщика) теплоизоляционных материалов	18	1,19	0,20–2,18
Линия пакетирования. Р.м. сортировщика (упаковщика) теплоизоляционных материалов. Р.м. уборщика производственных помещений	48	0,69	0,43–1,31
Площадка под камерой волокносаждения. Р.м. чистильщика. Р.м. электромонтера по ремонту и обслуживанию электрооборудования	33	0,53	0,11–1,01
Площадка у камеры термообработки. Р.м. слесаря-ремонтника. Р.м. слесаря по ремонту и обслуживанию систем вентиляции и кондиционирования. Р.м. газовщика. Р.м. слесаря по обслуживанию и ремонту газоиспользующего оборудования. Р.м. уборщика производственных помещений	27	0,63	0,20–0,94

проводилась с использованием методик, предложенных ВОЗ², Национальным институтом охраны труда США³, Управлением по вопросам охраны здоровья, техники безопасности и охраны труда Великобритании⁴, Научно-исследовательским и проектно-конструкторским институтом асбестовой промышленности (Российская Федерация)⁵.

Для отбора проб воздуха предложено устройство для фиксации фильтродержателей, состоящее из телескопической опоры в виде стойки телескопической, опирающейся на раздвижную треногу, и площадки для фиксации фильтродержателей. Данная разработка защищена патентом Республики Беларусь на полезную модель⁶.

Для проведения сопоставительного анализа результатов исследования воздуха рабочей зоны на содержание минеральных волокон с использованием метода опреде-

ления счётных концентраций респираторных волокон с результатами аналогичных исследований, проведенных с использованием гравиметрического метода, была разработана схема отбора проб воздуха. Гармонизированная схема включала одновременный отбор шести проб на мембранные многослойные фильтры из смеси эфиров и нитрата целлюлозы для последующего определения счётных концентраций респираторных волокон методом оптической фазово-контрастной микроскопии и трех проб на фильтры аэрозольные АФА-ВП 20 для определения всей массы пыли. Отбор проб на мембранные фильтры производился 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.

Исследование включало проведение отбора проб в 12 точках отбора на двух технологических линиях. Точки отбора проб выбраны исходя из особенностей технологического процесса и охватывали все основные технологические операции, выполняемые в цехе.

Учитывая технологическую цикличность производства материала, длящуюся, как правило 11 дней от пуска линии до остановки её на очистку, для анализа уровня запылённости в данном исследовании в динамике техпроцесса, весь период производства условно был разделён на две фазы. Первая фаза включала дни цикла до пяти дней от запуска линии после очистки, вторая фаза — после пяти дней до очередной остановки на чистку. Общее количество проанализированных препаратов пыли, отобранных в первую фазу, составило — 55, во вторую — 45.

Всего для определения концентрации респираторных волокон отобрано 124 образца пыли. Для микроскопии подготовленных препаратов использовали фазово-контрастный метод и программное обеспечение для визуализации изображения, получаемого при микроскопии, на экране монитора с возможностью ограничения поля

² Determination of airborne fiber number concentrations: A recommended method by phase-contrast optical microscopy (membrane filter method) / World Health Organization. Geneva; 1997.

³ Asbestos and other fibers by PCM: method 7400. NIOSH Manual of Analytical Methods / National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). 5th ed. Mode of access: <https://www.cdc.gov/niosh/nmam/pdf/7400.pdf>. Date of access: 17.12.2020

⁴ MDHS 59/2. Machine-made fibres Airborne number concentration and classification by phase contrast light microscopy. Methods for the Determination of Hazardous Substances: guidance. — Mode of access: <http://www.hse.gov.uk/pubns/mdhs/pdfs/mdhs59-2.pdf> — Date of access: 04.12.2017.

⁵ 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 пром-сти». Асбест; 2006.

⁶ Иванов Е. А. Устройство для фиксации фильтродержателей: патент на полезную модель 11698. Е. А. Иванов и др. Изобретения. Полезные модели. Промышленные образцы. Топологии интегральных микросхем: официальный бюллетень. Национальный центр интеллектуальной собственности. 2018; 122(3): 172.

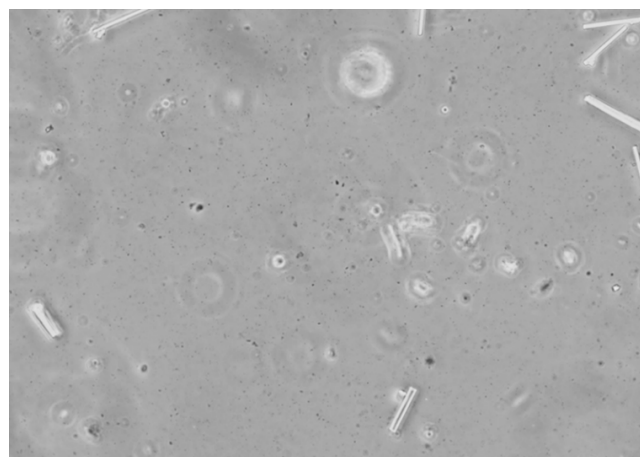


Рис. 1. Препарат образца витающей пыли, отобранного из воздуха рабочей зоны ваграночного отделения цеха по производству теплоизоляционных материалов (объем пробы — 150 л, увеличение — 400х)

Fig. 1. Sample of hovering dust taken from the working area air of the cupola compartment of the workshop for the thermal insulation materials production (sample volume — 150 l, magnification — 400x)

зрения и 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 расчётом коэффициента корреляции Пирсона (r). Для построения моделей зависимости признаков использовали линейный регрессионный анализ.

Для сравнения двух независимых групп по количественным признакам, распределение которых отличное от нормального, использовали критерий Манна–Уитни.

Результаты исследования считали достоверными, различия между показателями значимыми при вероятности безошибочного прогноза не менее 95,5% ($p < 0,05$)

Результаты и обсуждение. Проведённые исследования позволили установить, что содержание искусственных минеральных волокон в воздухе рабочей зоны по показателям массы взвешенных частиц не превышает гигиенических нормативов и колеблется от 0,51 мг/м³ до 1,19 мг/м³ на разных стадиях технологического процесса (табл. 1), что согласуется с результатами производственного лабораторного контроля, проводимого промышленной санитарной лабораторией предприятия.

Микроскопия отобранных образцов показала, что пыль в воздухе рабочей зоны цеха по производству теплоизоляционных изделий характеризуется полидисперсным составом. Волокна каменной ваты имеют морфологические отличия от природных минеральных волокон: более грубые, крупные и прямые. Центральная часть их подсвечена в фазовом контрасте, определяются как одиночные волокна, так и пучки.

Морфологический анализ препаратов образцов пыли, отобранных в цехе, позволил выявить характерные особенности состава пыли на различных стадиях технологического процесса производства строительных изделий на основе минеральной ваты.

Препараты, полученные из образцов пыли, отобранной на рабочем месте вагранщика, характеризуются большим количеством мелких зернистых частиц пыли, равномерно

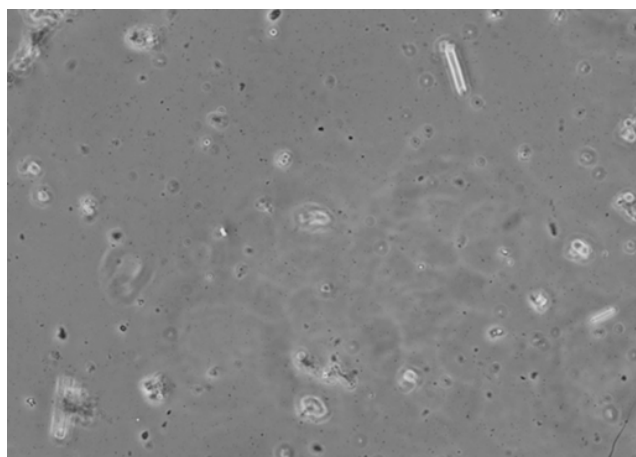


Рис. 2. Препарат образца витающей пыли, отобранного из воздуха рабочей зоны цеха по производству теплоизоляционных материалов на этапе сортировки плит (объем пробы — 150 л, увеличение — 400х)

Fig. 2. Sample of hovering dust taken from the working area air of the workshop for the production of thermal insulation materials at the stage of sorting boards (sample volume — 150 l, magnification — 400x)

покрывающих все поле зрения, а также характеризуются наличием крупных волокнистых частиц, имеющих толщину, не позволяющую относить эти волокна к респираторным (рис. 1). Осаждение крупных волокнистых частиц на фильтр на рабочем месте вагранщика может быть связано с тем, что технологический процесс на этом этапе предполагает поступление расплава, полученного в вагранке, на валки центрифуги и образование волокон, которые ещё не связаны между собой фенолформальдегидными смолами в единое полотно. Данные волокна свободно могут распространяться в воздухе рабочей зоны током воздуха с ускорением, приданным в центрифуге, через технологические отверстия в оборудовании и оседать на поверхности фильтра при отборе проб.

Препараты образцов пыли, полученные на последующих стадиях технологического процесса, характеризуются наличием как волокнистых частиц, так и значительным количеством зернистых частиц округлой и неправильной формы, в том числе образующих агрегаты различных размеров. При этом наибольшее количество непрозрачных зернистых частиц наблюдается на препаратах образцов пыли, полученных на конечной стадии технологического процесса — линии упаковки готовых изделий, что может быть связано с тем, что перемещение ступенчатых плит на поддоны вызывает активное движение воздушных масс и может приводить к вторичному подъёму осевшей пыли с поверхностей технологического оборудования и пола (рис. 2).

Из 124 препаратов образцов пыли, полученных из воздуха рабочей зоны цеха по производству теплоизоляционных изделий, подсчёт количества респираторных волокон был возможен на 100. Ряд препаратов, полученных при отборе проб объёмом более 60 л, оказались непригодны для дальнейшего анализа ввиду наличия большого количества зернистых частиц, покрывающих большую часть поля зрения.

Определение количества респираторных волокон минеральной ваты на различных стадиях технологического процесса позволило определить, что их концентрация в

Таблица 2 / Table 2

Концентрация респираторных волокон в воздухе рабочей зоны цеха по производству теплоизоляционных материалов**The concentration of respirable fibers in the working area air of the workshop for the production of thermal insulation materials**

Наименование рабочего места	n	вол/см ³	
		Среднее	min-max
Ваграночное отделение. Р.м. вагранщика	20	0,72	0,13–1,74
Сортировка плит. Р.м. сортировщика (упаковщика) теплоизоляционных материалов	38	0,67	0,15–1,46
Площадка у стола охлаждения. Р.м. слесаря по ремонту и обслуживанию систем вентиляции и кондиционирования. Р.м. машиниста вентиляционных и аспирационных установок. Р.м. сортировщика (упаковщика) теплоизоляционных материалов	6	1,23	0,82–1,77
Линия пакетирования. Р.м. сортировщика (упаковщика) теплоизоляционных материалов. Р.м. уборщика производственных помещений	16	0,81	0,13–1,43
Площадка под камерой волокноосаждения. Р.м. чистильщика. Р.м. электромонтера по ремонту и обслуживанию электрооборудования	11	0,45	0,13–1,16
Площадка у камеры термообработки. Р.м. слесаря-ремонтника. Р.м. слесаря по ремонту и обслуживанию систем вентиляции и кондиционирования. Р.м. газовщика. Р.м. слесаря по обслуживанию и ремонту газоиспользующего оборудования. Р.м. уборщика производственных помещений	9	0,55	0,18–1,08

воздухе рабочей зоны цеха колеблется от 0,45 вол/см³ — площадка под камерой волокноосаждения до 1,23 вол/см³ — площадка у стола охлаждения (**табл. 2**).

Стоит отметить, что работники основных профессий цеха теплоизоляционных изделий, за исключением вагранщика, не имеют постоянного рабочего места и подвергаются воздействию различных концентраций аэрозоля минеральных волокон при работе в разных технологических

зонах цеха, что необходимо учитывать при комплексной гигиенической оценке условий труда.

Корреляционный анализ зависимости концентрации респираторных волокон в воздухе рабочей зоны от массовой концентрации взвешенных частиц позволил установить наличие положительной корреляционной связи слабой силы ($r=0,21$, $p=0,040$). Полученная с помощью линейного регрессионного анализа модель зависимости

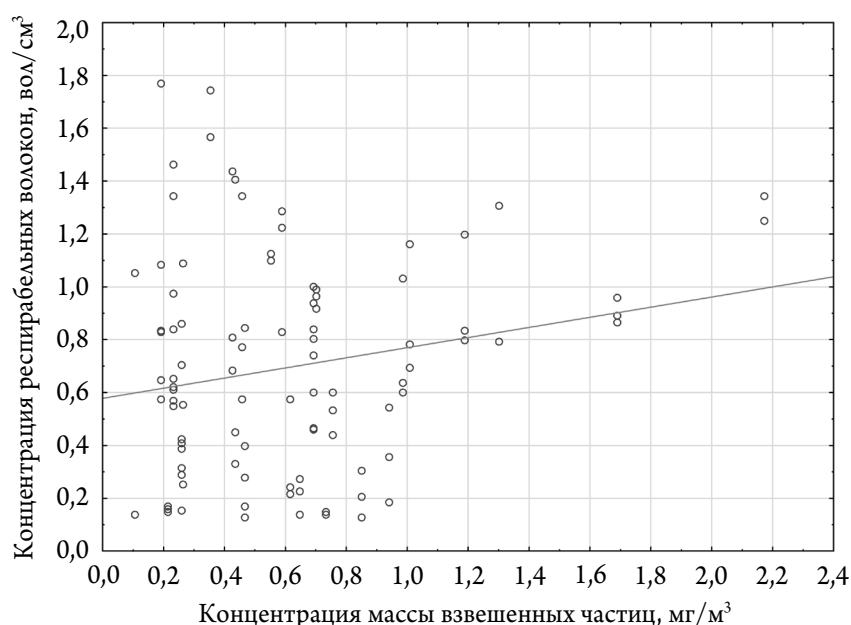


Рис. 3. Линейная зависимость концентрации респираторных волокон от среднесменной концентрации массы взвешенных частиц в воздухе рабочей зоны цеха по производству теплоизоляционных материалов

Fig. 3. The linear dependence of the concentration of respirable fibers on the average shift concentration of the mass of suspended particles in the working area air of the workshop for the production of thermal insulation materials

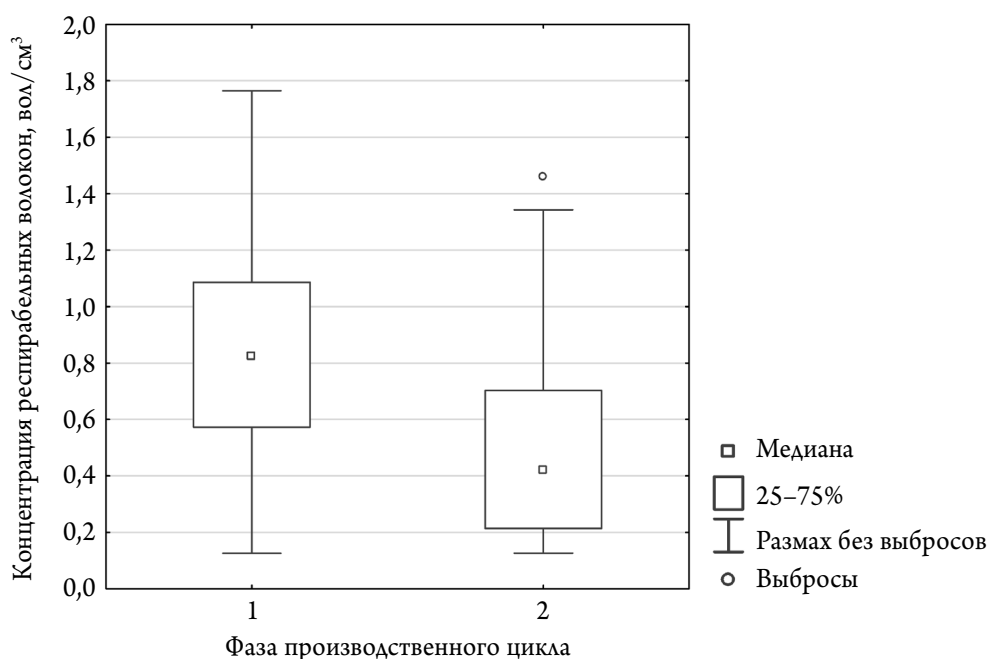


Рис. 4. Концентрация респирательных волокон в воздухе рабочей зоны цеха по производству теплоизоляционных материалов в зависимости от фазы производственного цикла

Fig. 4. The concentration of respirable fibers in the working area air of the workshop for the production of thermal insulation materials, depending on the production cycle phase

статистически значима ($F=4,35$, $p=0,040$) и описывается **уравнением 1**.

$$y \text{ (вол./см}^3\text{)} = 0,578 + 0,192 \times x \text{ (мг/м}^3\text{)} \quad (1)$$

Однако коэффициент детерминации данной модели (R^2) составил 0,043. Это позволяет говорить, что доля вариации концентрации респирательных волокон, которую способна объяснить данная модель на основании массовой концентрации взвешенных частиц, составляет всего 4,3% (**рис. 3**).

При изучении зависимости изменения концентрации респирательных волокон от фазы производственного цикла установлено, что данный показатель значительно выше в первой фазе (Me 0,83 (0,57–1,09) по сравнению со второй (Me 0,42 (0,21–0,70) ($p<0,05$) (**рис. 4**). При этом массовая концентрация взвешенных частиц в воздухе рабочей зоны не имеет достоверных отличий в разные фазы производственного цикла.

Таким образом, полученные данные свидетельствуют о необходимости проведения сравнительных комплексных гигиенических исследований пылевого фактора с определением массовых и счётных концентраций аэрозолей для оценки потенциальной опасности воздушной среды и эффективности принимаемых мер по защите работников от воздействия пылевого фактора, повышения эффективности производственного контроля в производствах искусственных минеральных теплоизоляционных материалов.

Выводы:

1. Существует положительная корреляционная связь слабой силы между концентрацией респирательных волокон минеральной ваты в воздухе рабочей зоны цеха

и концентрацией взвешенных частиц ($r=0,21$, $p=0,040$). Полученная с помощью линейного регрессионного анализа модель зависимости объясняет только 4,3% вариации концентрации респирательных волокон минеральной ваты на основании концентрации массы взвешенных частиц, что не позволяет использовать данную модель для пересчета одних величин в другие.

2. Микроскопия образцов пыли, отобранных из воздуха рабочей зоны цеха по производству теплоизоляционных изделий, позволяет определить характерную для различных стадий технологического процесса морфологическую картину.

3. Концентрация респирательных волокон в воздухе рабочей зоны цеха по производству теплоизоляционных изделий зависит от фазы производственного цикла, и ее фактические значения в первую фазу значительно превышают таковые во вторую. При этом концентрация массы взвешенных частиц не имеет достоверных отличий в разные фазы производственного цикла. Полученные данные могут объясняться тем, что в ходе производственного процесса происходит постепенное образование слоя пылевых отложений на узлах технологической линии, являющихся источниками выделения респирательных волокон, что уменьшает их эмиссию в воздух рабочей зоны.

4. Результаты, характеризующие различия дисперсионного состава пыли, а также зависимость концентрации респирательных волокон в воздухе рабочей зоны от фазы производственного цикла, могут быть использованы при проектировании санитарно-технических систем очистки воздуха и режимов их работы на различных этапах технологического процесса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Измеров Н.Ф., Прокопенко Л.В., Бухтияров И.В. и др. *Труд и здоровье*. М.: ЛитТерра; 2014.
2. Mandriolia D., Schlünssen V., Balázs Á. 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. *Environment International*. 2018; 119: 174–85.
3. Aleksynska M., Berg J., Foden D. et al. *Working conditions in a global perspective*. Luxembourg: Publications Office of the European Union; Geneva: International Labour Organization; 2019.
4. Trethewey S.P., Walters G.I. The Role of Occupational and Environmental Exposures in the Pathogenesis of Idiopathic Pulmonary Fibrosis: A Narrative Literature Review. *Medicina (Kaunas)*. 2018; 54(6): 1–11.
5. Barnes H., Goh N.S.L., Leong T.L., Hoy R. Silica-associated lung disease: An old-world exposure in modern industries. *Respirology*. 2019; 24: 1165–75.
6. Sadhra S., Kurmi O.P., Sadhra S.S. et al. Occupational COPD and job exposure matrices: a systematic review and meta-analysis. *Int. J. Chron. Obstruct. Pulmon. Dis.* 2017; 12: 725–34.
7. Pohlabein H., Jöckel K.-H., Brüske-Hohlfeld I. et al. Lung cancer and exposure to man-made vitreous fibers: results from a pooled case-control study in Germany. *American Journal of Industrial Medicine*. 2000; 37(5): 469–77.
8. Wardenbach P., Rödelberger K., Roller M., Muhle H. Classification of man-made vitreous fibers: Comments on the revaluation by an IARC working group. *Regulatory toxicology and pharmacology*. 2005; 43(2): 181–93.
9. Cavallo D., Campopiano A., Cardinali G. et al. Cytotoxic and oxidative effects induced by man-made vitreous fibers (MMVFs) in a human mesothelial cell line. *Toxicology*. 2004; 201(1–3): 219–29.
10. Cui Y., Huang L., Huo T. et al. Man-made mineral fiber effects on the expression of anti-oncogenes P53 and P16 and oncogenes C-JUN and C-FOS in the lung tissue of Wistar rats. *Toxicol. Ind. Health*. 2019; 35(6): 431–44.
11. Кундиев Ю.И., Варивончик Д.В. *Профессиональный рак: злокачественная мезотелиома*. Киев: Авіцена; 2015.
12. Копытенкова О.И., Леванчук А.В., Турсунов З.Ш. Оценка риска ущерба для здоровья при воздействии мелкодисперсной пыли минеральной ваты. *Казанский медицинский журнал*. 2014; 95(4): 570–4.
13. Мухаммадиева Г.Ф., Бакиров А.Б., Каримова Л.К. и др. Факторы риска развития и особенности профессиональной патологии у работников, занятых производством искусственных минеральных волокон. *Мед. труда и пром. экол.* 2018; 1: 19–23.
14. Lundgren L., Moberg C., Liden C. Do insulation products of man-made vitreous fibres still cause skin discomfort? *Contact Dermatitis*. 2014; 70(6): 351–60.
15. *Safety in the use of synthetic vitreous fibre insulation wools (glass wool, rock wool, slag wool): An ILO code of practice*. Geneva: International Labour Office; 2001.
16. Зиновский В.И., Костевич И.А., Богущ В.А. и др., ред. *Промышленность Республики Беларусь: статистический сборник*. Минск; 2013.
17. Медведева И.В., Кангро И.С., Василевская Ж.Н. и др., ред. *Промышленность Республики Беларусь: статистический сборник*. Минск; 2018.
18. Медведева И.В., Кангро И.С., Василевская Ж.Н. и др., ред. *Промышленность Республики Беларусь: статистический буклет*. Минск; 2020.

REFERENCES

1. Izmerov N.F., Prokopenko L.V., Bukhtiyarov I.V. et al. *Labor and health [Trud i zdorov'e]*. Moscow: LitTerra; 2014 (in Russian).
2. Mandriolia D., Schlünssen V., Balázs Á. 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. *Environment International*. 2018; 119: 174–85.
3. Aleksynska M., Berg J., Foden D. et al. *Working conditions in a global perspective*. Luxembourg: Publications Office of the European Union; Geneva: International Labour Organization; 2019.
4. Trethewey S.P., Walters G.I. The Role of Occupational and Environmental Exposures in the Pathogenesis of Idiopathic Pulmonary Fibrosis: A Narrative Literature Review. *Medicina (Kaunas)*. 2018; 54(6): 1–11.
5. Barnes H., Goh N.S.L., Leong T.L., Hoy R. Silica-associated lung disease: An old-world exposure in modern industries. *Respirology*. 2019; 24: 1165–75.
6. Sadhra S., Kurmi O.P., Sadhra S.S. et al. Occupational COPD and job exposure matrices: a systematic review and meta-analysis. *Int. J. Chron. Obstruct. Pulmon. Dis.* 2017; 12: 725–34.
7. Pohlabein H., Jöckel K.-H., Brüske-Hohlfeld I. et al. Lung cancer and exposure to man-made vitreous fibers: results from a pooled case-control study in Germany. *American Journal of Industrial Medicine*. 2000; 37(5): 469–77.
8. Wardenbach P., Rödelberger K., Roller M., Muhle H. Classification of man-made vitreous fibers: Comments on the revaluation by an IARC working group. *Regulatory toxicology and pharmacology*. 2005; 43(2): 181–93.
9. Cavallo D., Campopiano A., Cardinali G. et al. Cytotoxic and oxidative effects induced by man-made vitreous fibers (MMVFs) in a human mesothelial cell line. *Toxicology*. 2004; 201(1–3): 219–29.
10. Cui Y., Huang L., Huo T. et al. Man-made mineral fiber effects on the expression of anti-oncogenes P53 and P16 and oncogenes C-JUN and C-FOS in the lung tissue of Wistar rats. *Toxicol. Ind. Health*. 2019; 35(6): 431–44.
11. Kundiev Yu.I., Varivonchik D.V. *Occupational cancer: malignant mesothelioma [Professional'nyy rak: zlokachestvennaya mezotelioma]*. Kiev: Avitsena; 2015 (in Russian).
12. Kopytenkova O.I., Levanchuk A.V., Tursunov Z.Sh. Assessment of health damage due to exposure to mineral wool fine dusts. *Kazan Medical Journal*. 2014; 95(4): 570–4 (in Russian).
13. Mukhammadiyeva G.F., Bakirov A.B., Karimova L.K. et al. Risk factors and features of occupational diseases in workers engaged into artificial mineral fibers production. *Russian Journal of Occupational Health and Industrial Ecology*. 2018; 1: 19–23 (in Russian).
14. Lundgren L., Moberg C., Liden C. Do insulation products of man-made vitreous fibres still cause skin discomfort? *Contact Dermatitis*. 2014; 70(6): 351–60.
15. *Safety in the use of synthetic vitreous fibre insulation wools (glass wool, rock wool, slag wool): An ILO code of practice*. Geneva: International Labour Office; 2001.
16. Zinovskiy V.I., Kostevich I.A., Bogush V.A. et al., ed. *Industry of the Republic of Belarus: Statistical book*. Minsk; 2013 (in Russian).
17. Medvedeva I.V., Kangro I.S., Vasilevskaya Zh.N. et al., ed. *Industry of the Republic of Belarus: Statistical book*. Minsk; 2018 (in Russian).
18. Medvedeva I.V., Kangro I.S., Vasilevskaya Zh.N. et al., ed. *Industry of the Republic of Belarus: Short data book*. Minsk; 2020 (in Russian).