

**ОЦЕНКА РИСКА УЩЕРБА ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ
МЕЛКОДИСПЕРСНОЙ ПЫЛИ МИНЕРАЛЬНОЙ ВАТЫ**

*Ольга Ивановна Копытенкова, Александр Владимирович Леванчук,
Закир Шухратович Турсунов**

*Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I,
г. Санкт-Петербург*

Реферат

Цель. Разработка экспресс-метода оценки риска развития патологии сердечно-сосудистой системы у работающих при воздействии на них мелкодисперсной пыли минеральной ваты.

Методы. В работе пылемером «ОМПП-10.0» определены концентрации PM_{10} и $PM_{2.5}$ в воздухе рабочей зоны при работах в контакте с минеральными ватами. Атомно-абсорбционным методом выполнено измерение массовой доли тяжёлых металлов в составе минеральных ват. Проведён статистический анализ 40 амбулаторных карт и эпикризов клиники профпатологии. На основе пакета программ SPSS Statistica 17.0 уточнены параметры математической модели риска возникновения патологии сердечно-сосудистой системы.

Результаты. В воздухе рабочей зоны у лиц, занятых работами с использованием минеральных ват, содержится пыль в концентрации $8,2 \pm 1,3$ мг/м³, для частиц размером менее 10 мкм — $1,8 \pm 0,4$ мг/м³, частиц размером менее 2,5 мкм — $1,25 \pm 0,3$ мг/м³. В составе пыли выявлены соединения тяжёлых металлов: Cu, Zn, Pb, Cd, Ni. Установлена зависимость величины риска патологии сердечно-сосудистой системы от стажа работы в неблагоприятных условиях и кратности превышения гигиенических нормативов. Риск утраты здоровья работниками, занятыми в контакте с минеральной ватой в изученных концентрациях, через 4 года стажа определён как высокий, через 14 лет стажа — как очень высокий.

Вывод. Полученные нами результаты зависимости величины риска возникновения патологии сердечно-сосудистой системы при контакте с мелкодисперсной пылью минеральных ват от стажа работы и степени превышения предельно допустимой концентрации могут быть использованы для экспресс-оценки риска развития патологии сердечно-сосудистой системы у работающих при воздействии на них мелкодисперсной пыли (с размером частиц менее 10 и 2,5 мкм).

Ключевые слова: гигиена труда, минеральная вата, профессиональный риск.

ASSESSMENT OF HEALTH DAMAGE DUE TO EXPOSURE TO MINERAL WOOL FINE DUSTS

O.I. Kopytenkova, A.V. Levanchuk, Z.Sh. Tursunov

Petersburg State Transport University, Saint Petersburg, Russia

Aim. To develop the rapid method for cardiovascular diseases risk assessment among employees exposed to mineral wool fine dusts.

Methods. Concentrations of particles smaller than 10 and 2.5 μ m were measured in the air of mineral wools producing working area using «OMP-10.0» dust meter. The mass fraction of heavy metals in mineral wools was calculated by atomic absorption method. Statistical analysis of 40 out-patient charts data and discharge summaries of occupational diseases department was performed. Cardiovascular risk mathematical model parameters were calculated using SPSS Statistica 17.0 software package.

Results. Dust concentration in the air of working area where mineral wools are used was 8.2 ± 1.3 mg/m³, including 1.8 ± 0.4 mg/m³ of particles smaller than 10 μ m and 1.25 ± 0.3 mg/m³ of particles smaller than 2.5 μ m. Heavy metal compounds, such as Cu, Zn, Pb, Cd, Ni, were revealed in the dust. Relation between the cardiovascular risk and duration of service in unfavorable environmental conditions and hygienic standards overage ratio was established. The risk for a disease for workers with term of service of 4 years was assessed as high, with term of service of 14 years — as extra-high.

Conclusion. Results showing the dependence of cardiovascular risk on contact with mineral wool fine dust and length of service and hygienic standards overage ratio can be used as an express cardiovascular risk assessment method in employees exposed to mineral wool fine dusts with the particles size smaller than 10 and 2.5 μ m.

Keywords: occupational health, mineral wool, occupational risks.

Условия труда на протяжении последних десятиков лет остаются одной из самых актуальных и социально значимых проблем [3]. В конце XX века Международной организацией труда [2] принята стратегия «Здоровье для всех в XXI веке», одна из задач которой — обеспечение здоровой и безопасной производственной среды. Для реализации международных соглашений в России после более чем 20 лет проведения аттестации рабочих мест по условиям труда принят закон №426-ФЗ от 28 декабря 2013 г.

«О специальной оценке условий труда». Специальная оценка условий труда в соответствии с законом является единым комплексом последовательно осуществляемых мероприятий по идентификации вредных и/или опасных факторов производственной среды и трудового процесса и оценки уровня их воздействия на работника. В соответствии со статьёй 7 Закона №426-ФЗ от 28 декабря 2013 г. специальная оценка условий труда будет применяться для установления работникам, занятым на рабочих местах с вредными и/или опасными условиями труда, гарантий и компенсаций, преду-

смотренных трудовым законодательством, и для оценки уровня профессионального риска.

Следует отметить, что количественная оценка степени риска ущерба для здоровья работников от действия вредных и опасных факторов рабочей среды по вероятности нарушений здоровья с учётом их тяжести является в настоящее время перспективным методом обоснования управленческих решений в области гигиены труда для ограничения риска и оптимизации условий труда работников.

Внедрение новых технологий приводит к появлению новых, недостаточно изученных факторов производственной среды. Широкому использованию минеральной ваты (МВ) в качестве основы тепловой изоляции промышленных зданий, сооружений и установок, жилых и общественных зданий сопутствует воздействие на работающих в контакте с ней пылевых частиц.

Основу МВ составляют шлаковые и базальтовые волокна. Пыль, образующаяся при их разрушении, является мелкодисперсной – с диаметром менее 10 мкм. Скорость осаждения такой пыли под действием силы тяжести в спокойной воздушной среде составляет менее 1 см/с. Следовательно, частицы МВ долго остаются в воздухе рабочей зоны и попадают в организм.

Важность регламентирования работ в контакте с МВ обозначена в документе Европейской комиссии 67/548/ЕЕС и в директиве Европейского союза 97/69/ЕС. По данным Американской кардиологической ассоциации, длительное воздействие загрязняющих веществ оказывает неблагоприятное воздействие на сердечно-сосудистую систему (ССС) [7].

До настоящего времени недостаточно сведений о химическом составе МВ, их неблагоприятном действии на СССР, а также сведений о риске ущерба здоровью работающих при длительном контакте с ними.

Целью настоящего исследования была разработка экспресс-метода оценки риска развития патологии СССР у работающих при воздействии на них мелкодисперсной пыли (размер частиц менее 10 и 2,5 мкм – PM_{10} и $PM_{2,5}$).

В программу исследования входили количественная характеристика загрязнения воздуха рабочей зоны при фасадных облицовочных и термо-изолировочных работах пылевыми частицами МВ (в том числе PM_{10} и $PM_{2,5}$), химический анализ мелкодисперс-

ной фракции пыли, статистический анализ 40 амбулаторных карт и эпикризов клинико профпатологии, оценка риска ущерба здоровью работника.

Для количественной оценки загрязнения воздуха рабочей зоны осуществляли отбор проб на протяжении 8 ч аспиратором АВА-3-180-001А со скоростью 25 dm^3/min на фильтры АФА-ВП-10. Определение количества пыли, уловленной из измеренного объёма исследуемого воздуха, проводили гравиметрическим методом. Концентрации PM_{10} и $PM_{2,5}$ в воздухе рабочей зоны определяли пылемером модели ОМПН-10.0. Химический состав (измерение массовой доли тяжёлых металлов) в пылевых частицах идентифицировали атомно-абсорбционным методом. Оценку результатов проводили в соответствии с гигиеническим нормативом 2.2.5.1313-03 («Химические факторы производственной среды. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны. Гигиенические нормативы»).

Статистический анализ амбулаторных карт и эпикризов пациентов с диагностированной пылевой профессиональной патологией проведён с помощью пакета прикладных программ SPSS Statistics 17.0. Специальная оценка условий труда осуществлена в соответствии с приказом Министерства труда и Социального развития РФ №33н от 24.01.2014. Оценка риска ущерба здоровью работника проведена в соответствии с методическими рекомендациями 2.1.10.0062-12 («Количественная оценка неканцерогенного риска при воздействии химических веществ на основе построения эволюционных моделей»).

Специальная оценка условий труда рабочих, в процессе трудовой деятельности применяющих изделия из МВ, позволила идентифицировать ранее мало изученный фактор – мелкодисперсную пыль, в том числе PM_{10} и $PM_{2,5}$. В воздухе рабочей зоны у лиц, занятых работами с использованием МВ, обнаружена пыль в концентрации $8,2 \pm 1,3$ mg/m^3 (превышение максимальной разовой ПДК, ПДК_{мр} для минеральных волокон, в 4,1 раза), PM_{10} – в концентрации $1,8 \pm 0,4$ mg/m^3 , $PM_{2,5}$ – в концентрации $1,25 \pm 0,3$ mg/m^3 .

Для загрязнения воздуха рабочей зоны мелкодисперсной пылью в настоящее время гигиенические нормативы отсутствуют. В РФ норматив существует только для атмосферного воздуха (гигиенический норматив

Соединения тяжёлых металлов в составе мелкодисперсной пыли минеральной ваты (мг/кг)

Тип минеральной ваты	Наименование металлов						
	Cu	Zn	Pb	Cd	Ni	Fe	Mn
Плиты минераловатные жёсткие на синтетическом связующем ТШ 64-00295113-01:2011	110	165	345	20	78	465	50
Базальтовое тонкое волокно ТУ 64-16625423-01:07	70	136	408	16	69	625	200
Плита негоряемая теплоизоляционная базальтовая ТШ 64-16625423-05:2004	50	133	<*	15	59	1780	70

Примечание: *количество Pb ниже порога чувствительности химического метода, то есть меньше 1 мг/кг.

2.1.6.2604-10), который составляет для PM_{10} 0,3 мг/м³, для $PM_{2,5}$ — 0,16 мг/м³. В связи с тем, что в литературе существуют указания на беспороговый характер воздействия частиц размером менее 10 и 2,5 мкм [5], нами в качестве ориентира использованы указанные выше нормативы. Превышения ПДК_{мр} составили для PM_{10} и $PM_{2,5}$ 6 и 7,8 раза соответственно.

На основе анализа литературы [4] установлено, что МВ изготавливается из расплава горной породы, шлака и стекла. В исходный материал (диабаз или габбро) каменной ваты добавляют минералы (известняк, доломит и глину), шихту или доменные шлаки. Доля минеральных и иных примесей в каменной вате может достигать 35% [4]. Европейская директива относит минеральные волокна с суммарным содержанием оксидов щелочных и щёлочноземельных металлов, равным или менее 18 масс% (которые используют в России), к группе безусловно опасных волокон, выделяемых в специальную категорию опасных веществ. Для улучшения физико-механических свойств в МВ добавляют связующие вещества, оказывающие влияние на опасность воздуха рабочей зоны (нефтяные битумы, крахмал и синтетические смолы, растворимое стекло, цемент, фенолоспирты и др.).

Отечественная промышленность в настоящее время использует в основном базальтовое супертонкое волокно с диаметром 1–3 мкм.

Ранее было установлено [1], что в состав МВ входят оксиды металлов (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , MnO , CaO , TiO , P_2O_5 , K_2O , Na_2O , SiO_2), которые обладают фиброгенным действием. Проведённые нами исследования проб пыли, загрязняющей воздух рабочей зоны при работе с МВ, дополнительно позволили выявить соединения тяжёлых металлов: Cu, Zn, Pb, Cd, Ni (табл. 1).

Известно, что в основе токсического действия металлов лежат их химические

свойства, в первую очередь высокое сродство к SH-группам белков, процессы полиденатного связывания, а также реакции конкурентного замещения. Кроме того, универсальным механизмом токсического действия тяжёлых металлов является активация свободнорадикального и пероксидного окисления, повреждающего важнейшие молекулярные и надмолекулярные структуры белков, липидов и нуклеиновых кислот биологических мембран [6]. Таким образом, основными патологическими процессами можно считать каталитическое или тормозящее воздействие на биохимические процессы, образование свободных радикалов, механическое разрушение клеток. Следовательно, у лиц при длительном аэрогенном воздействии на них мелкодисперсной пыли, содержащей соединения тяжёлых металлов, возможны нарушение проницаемости альвеолярного барьера и, как следствие, возникновение гипоксии, которая способствует увеличению риска патологии кардиореспираторной системы.

При обследовании 40 пациентов клиники профпатологии «СЗНЦ гигиены и общественного здоровья» (г. Санкт-Петербург), занятых работами в контакте с МВ, обнаружено уменьшение содержания кальция в бестромбоцитарной плазме в 1,3 раза ($1,74 \pm 0,073$ ммоль/л при норме $2,28 \pm 0,06$ ммоль/л), что может свидетельствовать об увеличении процессов вязкого метаморфоза тромбоцитов. Выявлены статистически значимое снижение содержания эритроцитов в периферической крови обследованных ($3,5 \pm 0,043 \times 10^{12}$ /л, $p < 0,05$) и тенденция к увеличению содержания общего билирубина ($15,79 \pm 0,062$ ммоль/л) на фоне высокого уровня гемоглобина ($125,4 \pm 0,53$ г/л). Этот факт может указывать на повреждение фосфолипидных мембран эритроцитов. Кроме того, у обследованных обнаружены изменения в количественном и качественном составе макрофагов, призна-

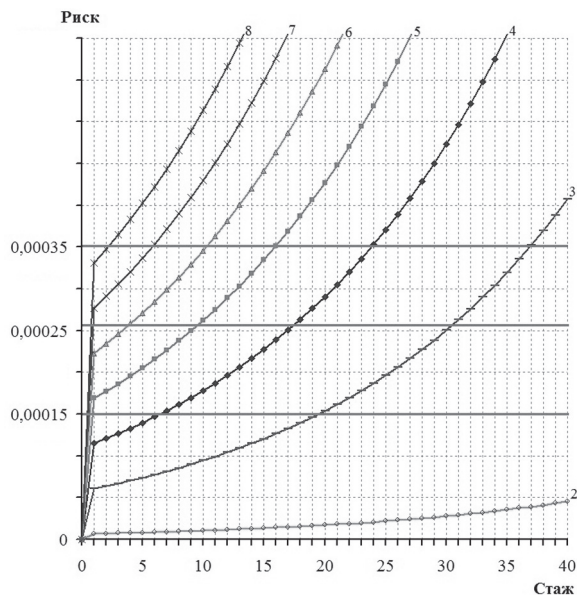


Рис. 1. Изменение риска возникновения патологии сердечно-сосудистой системы при контакте с мелкодисперсной пылью минеральной ваты в зависимости от стажа работы и величины превышения предельно допустимой концентрации (ПДК).

ки сенсibilизации, явления артериальной гипертензии.

Статистический анализ выраженности проявлений патологии ССС и пылевой нагрузки в зависимости от стажа работы в контакте с МВ дал возможность верифицировать модель расчёта риска возникновения патологии ССС при воздействии пылевых частиц ($PM_{10-2,5}$) [5] и предложить диаграмму для экспресс-метода оценки риска развития патологии ССС. Модель имеет следующий вид (модель 1):

$$R_t^{ccc} = 0,105 \cdot \left(e^{-0,000528t} - e^{-0,00704 \cdot X^{PM_{10-2,5}}} \right) \quad (1)$$

В представленной на рис. 1 диаграмме учтены элементы эволюционной модели, отражающей систему накопления риска нарушений ССС во времени за счёт естественных причин.

Эволюционные уравнения в общем виде представляет собой модель 2.

$$R_{t+1}^{ccc} = R_t^{ccc} + (\alpha_t R_t^{ccc} + \Delta R_t^{ccc}) C \quad (2)$$

где R_{t+1}^{ccc} — риск нарушений ССС в момент времени $t+1$; R_t^{ccc} — риск нарушений ССС организма в момент времени t ; α_t — коэффициент, учитывающий эволюцию риска за счёт естественных причин; C — временной эмпирический коэффициент, принимаемый в соответствии с [5] равным 1,0.

Коэффициенты, учитывающие эволю-

цию риска патологии ССС за счёт естественных причин (α_t), определяются, исходя из фоновых показателей заболеваемости для данного класса болезней (принят равным 0,05).

На рис. 1 представлена зависимость величины риска возникновения патологии ССС от стажа работы при воздействии мелкодисперсной пыли МВ различной интенсивности.

Эволюционная модель позволяет рассчитывать риск на любой заданный момент времени. В начальный момент времени значение риска принимается равным 0,01 [5]. На основе известной экспозиции мелкодисперсной пыли МВ во времени существует возможность определить прогноз на период ожидаемой продолжительности стажа работы.

Результаты использования представленной зависимости позволили нам составить таблицу (табл. 2) для экспресс-метода оценки риска развития патологии ССС у работающих при воздействии на них мелкодисперсной пыли (PM_{10} и $PM_{2,5}$).

Применение полученных нами сведений указывает на тот факт, что работники, имеющие контакт с мелкодисперсной пылью МВ в концентрациях $1,8 \pm 0,4$ мг/м³, через 4 года стажа формируют группу высокого риска возникновения патологии ССС, а через 14 лет работы в таких условиях риск патологии ССС становится очень высоким.

Таблица 2

Величина риска патологии сердечно-сосудистой системы при работе в условиях воздействия мелкодисперсной пыли (размер частиц менее 10 и 2,5 мкм)

Превышение ПДК	Величина риска при достижении стажа (годы)		
	Умеренный – до 0,35	Высокий – 0,6	Очень высокий – 0,8 и более
3	20	21–31	≥32
4	6	7–18	≥19
5	До 4	5–10	≥11
6 и более	До 2	3–4	≥5

Примечание: ПДК – предельно допустимая концентрация.

ВЫВОДЫ

1. В воздухе рабочей зоны у людей, занятых работами с использованием минеральной ваты, обнаружена пыль в концентрации $8,2 \pm 1,3$ мг/м³, РМ₁₀ – в концентрации $1,8 \pm 0,4$ мг/м³, РМ_{2,5} – в концентрации $1,25 \pm 0,3$ мг/м³. В составе минеральной ваты выявлены соединения тяжёлых металлов: Cu, Zn, Pb, Cd, Ni и др.

2. Риск утраты здоровья работающими, занятыми на фасадных облицовочных работах в контакте с минеральной ватой, при использовании оценки значимости рисков через 4 года стажа определён как высокий, а через 14 лет стажа – как очень высокий.

3. Полученные нами результаты зависимости величины риска возникновения патологии сердечно-сосудистой системы при контакте с мелкодисперсной пылью минеральной ваты от стажа работы и величины превышения предельно допустимой концентрации могут быть использованы для экспресс-оценки риска развития патологии

сердечно-сосудистой системы у работающих при воздействии на них мелкодисперсной пыли (РМ₁₀ и РМ_{2,5}).

ЛИТЕРАТУРА

1. Земцов А.Н., Николаева И.Л. Строительная теплоизоляция и энергосбережение // Стены и фасады. – 2001. – №5-6. – С. 32-36. [Zemtsov A.N., Nikolaeva I.L. Building insulation and energy saving. *Steny i fasady*. 2001; 5-6: 32-36. (In Russ.)]
2. Зеркалов Д.В. Безопасность труда в сфере охраны здоровья. Правила. Рекомендации. Инструкции. Справочное пособие. – К.: Основа, 2011. – 598 с. [Zerkalov D.V. Safety in the field of health care. Rules. Recommendations. Instructions. Handbook. *Kiev: Osnova*. 2011: 598. (In Russ.)]
3. Измеров Н.Ф. Концепция долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 г. («Стратегия 2020») и сохранение здоровья работающего населения России // Мед. труда и промышл. экология. – 2012. – №3. – С. 1-8. [Izmerov N.F. The concept of long-term socio-economic development of the Russian Federation for the period up to 2020 («Strategy 2020»), and maintaining the health of the working population of Russia. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2012; 3: 1-8. (In Russ.)]
4. Минеральная вата – свойства и характеристики [Электронный ресурс] // Портал строительные материалы и оборудования. – 2011. – <http://www.rmnt.ru/story/isolation/351113.htm> (дата обращения: 18.03.2012). [Mineral wool – properties and characteristics [electronic resource]. *Portal stroitel'nye materialy i oborudovanie*. 2011. <http://www.rmnt.ru/story/isolation/351113.htm> (date of access: 18.03.2012).
5. Burnett R.T., Cakmak S., Brook J.R., Krewski D. The role of particulate size and chemistry in the association between summertime ambient air pollution and hospitalization for cardiorespiratory disease // *Environ. Health Perspect.* – 1997. – Vol. 105, N 6. – P. 614-620.
6. Navas-Acien A., Selvin E., Sharrett A.R. et al. Lead, cadmium, smoking, and increased risk of peripheral arterial disease // *Circulation.* – 2004. – Vol. 109, N 25. – P. 3196-3201.
7. Pope C.A. Epidemiology of fine particulate air pollution and human health: biologic mechanisms and who's at risk? // *Environmental Health Perspectives.* – 2000. – Vol. 108, suppl. 4. – P. 713-723.