



Чеберячко С.И., Радчук Д.И., Дерюгин О.В.

Эффективность шахтёрских респираторов

Национальный технический университет «Днепровская политехника», 49005, Днепр, Украина

Введение. При подземной добыче угля пыль является одним из основных вредных факторов. Несовершенство используемых технологий приводит к значительной запылённости и повышает риск развития неизлечимых пневмокозиозов. Последним средством защиты становятся респираторы, но информация об их эффективности противоречива.

Цель. Уточнить эффективность фильтрующих средств индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД) с эластомерными полумасками в условиях угольных шахт.

Материалы и методы. Для оценки эффективности СИЗОД используют коэффициент защиты (КЗ) – отношение концентрации загрязнений вне маски к концентрации в маске. Проводили замеры КЗ эластомерных полумасок второго класса защиты в лаборатории и на рабочих местах; дополнительно измеряли, какую долю времени шахтёры используют СИЗОД. Для оценки влияния СИЗОД на пылевую нагрузку проведено математическое моделирование с использованием результатов измерений.

Результаты. В подавляющем большинстве случаев концентрация пыли под маской превышала предельно допустимую концентрацию (ПДК). Сведения о высокой эффективности респираторов-полумасок (при их непрерывном использовании) не подтвердились. КЗ, измеренный в лабораторных условиях, достигал 6,2; а на рабочих местах был от 5 до 31 (при непрерывном применении сертифицированных полумасок). Доля времени неприменения СИЗОД в 15 замерах была от 10 до 45% от длительности смены. Результаты измерений КЗ на рабочих местах, доли времени неприменения СИЗОД, а также данные о концентрации пыли в 5 угольных шахтах использовали для моделирования влияния применения респиратора на пылевую нагрузку. Расчёты, выполненные разными методами с помощью разных программ, дали совпадающий результат: в той запылённости, которая сейчас типична, полумаски не могут снизить концентрации пыли во вдыхаемом воздухе до ПДК даже при непрерывном применении.

Заключение. Результаты показали, что использование противопылевых респираторов не позволяет обеспечить профилактику пневмокозиозов.

Ключевые слова: противопылевой респиратор; коэффициент защиты; пылевая нагрузка; пневмокозиоз

Для цитирования: Чеберячко С.И., Радчук Д.И., Дерюгин О.В. Эффективность шахтёрских респираторов. *Гигиена и санитария*. 2021; 100 (2): 129–134. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-2-129-134>

Для корреспонденции: Чеберячко Сергей Иванович, доктор тех. наук, профессор каф. охраны труда и гражданской безопасности, Национальный технический университет «Днепровская политехника», 49005, Днепр, Украина. E-mail: sicheb@ukr.net

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Благодарность. Исследование не имело спонсорской поддержки. Авторы выражают благодарность Чиркину Александру Вячеславовичу за оказанную помощь и бесценные советы по написанию рукописи статьи. Авторы признательны горнорабочим и практикантам, участвовавшим в исследовании, и администрациям шахт, в которых проводились измерения.

Участие авторов: Чеберячко С.И. – концепция и дизайн исследования, сбор материала, написание текста, редактирование; Радчук Д.И. – сбор и обработка материала, написание текста, редактирование; Дерюгин О.В. – сбор и обработка материала, написание текста, редактирование. Все соавторы – утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

Поступила 13.02.2020 / Принята к печати 18.09.2020 / Опубликована 30.03.2021

Sergej I. Cheberyachko, Dmitrij I. Radchuk, Oleg V. Deryugin

The effectiveness of the miners' respirators

National Mining University «Dnipro Polytechnic», 49005, Dnipro, Ukraine

Introduction. Dust is one of the main harmful factors in underground coal mining. The dust concentration in the coal mines remains high due to the imperfection of the used technologies, increasing the pneumoconiosis risk in miners. Respirators are the last means of protection, but information about their effectiveness is contradictory.

Aim. Assess the effectiveness of individual respiratory protective devices in the coal mines.

Material and methods. The protection factor (PF), the ratio of the dust concentration outside the mask to the concentration under the mask is used to assess respirators' effectiveness. We measured the PFs in the laboratory and the workplaces. We also measured the time the miners did not use respirators. The measurements' results were used as input data for mathematical modeling to reduce dust load reduction.

Results. The concentration of dust under the mask exceeded the Occupational Exposure Limit (OEL) in most cases. Information about the high efficiency of the negative pressure half-mask respirators (in case of continuous use) was not confirmed. The PFs measured under laboratory conditions reached 6.2, and in the workplace were from 5 to 31. The miners did not use respirators from 10 to 45% of the shift duration (15 measurements). The measurements and information on the concentration of dust in 5 mines were used to simulate the impact of the respirators' usage on the dust load. Calculations performed by different methods, and using various programs, gave the same result. The negative pressure half-mask respirators cannot reduce the dust's concentration in the inhaled air to the OEL even with continuous use.

Conclusion. The results showed that the respirators' usage could not prevent developing incurable pneumoconiosis in miners.

Keywords: dust mask; workplace protection factor; total dust load; pneumoconiosis

For citation: Cheberyachko S.I., Radchuk D.I., Deryugin O.V. The effectiveness of the miners' respirators. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2021; 100 (2): 129–134. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-2-129-134> (In Russ.)

For correspondence: Sergey I. Cheberyachko, MD, Ph.D., DSci, Prof. National Mining University «Dnipro Polytechnic», Dnipro, 49005, Ukraine. E-mail: sicheb@ukr.net

Information about the authors:

Cheberyachko S.I., <https://orcid.org/0000-0003-3281-7157>; Radchuk D.I., <https://orcid.org/0000-0001-8034-541X>; Deryugin O.V., <https://orcid.org/0000-0002-2456-7664>

Conflict of interest. Authors declare no conflict of interest.

Acknowledgements. The study had no sponsorship. The authors also express their gratitude to Alexander Chirkin for his help and invaluable advice on writing the manuscript. The authors are grateful to the miners and trainees who participated in the study and to the mine administrations where the measurements were made.

Contribution of the authors: Cheberyachko S.I. – research concept and design, the collection and processing of the material, writing text, editing; Radchuk D.I. – the collection and processing of the material, writing text, editing; Deryugin O.V. – the collection and processing of the material, writing text, editing. All co-authors – approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article.

Received: February 13, 2020 / Accepted: September 18, 2020 / Published: March 30, 2021

Введение

Породная и угольная пыль является одним из основных вредных факторов при подземной добыче угля, а её концентрация может порой превышать 4 г/м^3 [1]. Используемые сейчас средства коллективной защиты не позволяют снизить воздействие пыли до безопасного уровня, и последним способом защиты шахтёров остаются противопылевые респираторы. Но несмотря на их применение, уровень профессиональной заболеваемости пылевой этиологии остаётся высоким; а литературные данные об эффективности таких средств индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД) противоречивы. Так, по данным [2], полумаски могут снижать запылённость вдыхаемого воздуха до 200 раз; по другим данным – даже > 1000 раз [3]. С другой стороны, имеется ряд работ иностранных исследователей, в которых указывается, что это снижение может быть до 3,2 раза ([4], Великобритания) и до 2–3 раз ([5], США). Возможно, это отличие в оценках объясняется недостаточным вниманием к результатам измерений эффективности на рабочих местах [6]. Поэтому была поставлена задача в проведении исследований использования противопылевых респираторов в лабораторных условиях и на рабочих местах для оценки эффективности СИЗОД.

Материалы и методы

Лабораторная проверка. Для оценки эффективности СИЗОД был использован коэффициент защиты (КЗ – Protection coefficient (PF)) – отношение средней концентрации загрязнений снаружи маски к подмасочной. Различают производственный КЗ (Workplace PF), получаемый при своевременной и правильной носке рабочими противопылевых респираторов во время работы; эффективный КЗ (Effective PF), получаемый при не всегда своевременном применении противопылевого респиратора на рабочем месте; ожидаемый КЗ (Expected PF) – используется для выбора СИЗОД при известном превышении предельно допустимой концентрации (ПДК) веществ. Для измерения КЗ на рабочих местах в условиях угольных шахт и в лабораторных условиях одновременно отбирают две пробы воздуха – из маски и в зоне дыхания вне маски – и определяют концентрацию для вычисления КЗ. Исследования СИЗОД разных типов в лабораторных условиях и на рабочих местах показали, что КЗ нестабильны и на рабочих местах могут быть на порядки ниже, чем в лабораториях. Поэтому на основе замеров производственных КЗ были разработаны такие ожидаемые КЗ, которые учитывают разницу между применением СИЗОД на практике и в лаборатории. В Австралии, Канаде, КНР, США, Японии ожидаемый КЗ противопылевых респираторов равен 10.

Лабораторная проверка разных моделей противопылевых респираторов в условиях, близких к сертификационным, показала возможность снижения КЗ до 6,2 [7] при требуемых КЗ = 50 и декларируемых (противопылевой респиратор «Лепесток») 200. Низкие результаты могли отчасти объясняться тем, что в стандартах ЕС и адаптированных к ним отечественных версиях¹ требуют привлечения к испытаниям людей, у которых лица соответствуют полумаскам по форме и размеру. В США и КНР подбор испытуемых для испытаний проводят на основе результатов антропометрических замеров, охвативших ≈ 4 тысячи человек трудоспособного возраста в разных регионах. И хотя при выдаче работнику респиратора работодатель должен обеспечить проверку соответствия полумаски лицу каждого работника (приложение А [8]), это требование часто игнорируется, поэтому и возможно значительное снижение КЗ таких СИЗОД, которые неплотно прилегают к лицам.

Замеры на рабочих местах. В угольных шахтах было проведено три исследования КЗ шахтёрских СИЗОД с эласто-

мерными полумасками второго класса защиты (типа РПА). Эта работа выявила отсутствие методики измерений и средств отбора проб воздуха. Недоступность современной западной литературы [9] привела к ошибке в первом исследовании: отбор проб воздуха из маски противопылевого респиратора вели через узкий зонд. Скорость и направление движения струек воздуха на входе в зонд сильно менялись, и крупные частицы оседали в зонде, не достигая фильтра. Измеренные концентрации пыли под полумасками были занижены, но в 36 из 40 замеров они превысили ПДК 4 мг/м^3 . Авторы просили участников не снимать маски во время замеров (15–30 мин), и они старались это делать. Недостатки пробоотборного устройства «АЭРА» не позволили делать длительные замеры.

Использовать пробоотборное устройство «АЭРА» было сложно (масса 7,7 кг, оно громоздко). А использование персональных пробоотборных насосов в метаноопасных угольных шахтах невозможно, так как они не сертифицированы как взрывобезопасные.

Во втором исследовании использовали оптические пылемеры «ИЗША»². Но при большой влажности выдыхаемого воздуха и невысокой концентрации пыли под маской и из-за отсутствия непрерывной записи показаний не удалось получить пригодные для использования результаты.

В третьем исследовании кассеты с фильтрами «АФА» для отбора проб подмасочного воздуха ставили на маски, соединив с подмасочным пространством отверстием $\varnothing 20$ мм, что исключило осаждение пыли в зонде. В замерах участвовали 8 шахтёров. Они управляли комбайном, скребковым транспортёром, механизированной кровлей, очищали места сопряжения лавы и штрека, меряли выделение метана и скорость воздуха.

Неприменение СИЗОД в загрязнённой атмосфере. Выполнение работы требует от горнорабочих общаться друг с другом. Из-за этого и дискомфорта, ухудшения газообмена, повышенного сопротивления дыханию большинство шахтёров не используют постоянно противопылевые респираторы в загрязнённой атмосфере рабочего пространства (и в Украине, и в других странах), что снижает эффективность защиты органов дыхания. В литературе можно встретить оценки такого снижения: «при постоянной концентрации загрязнений и неприменении СИЗОД 1/N часть смены среднесменного КЗ будет ниже N». Но загрязнённость воздуха непостоянна, и неприменение СИЗОД лишь при маленькой запылённости повышает эффективность. В имевшихся условиях (толщина пластов угля до 0,3 м, рабочие порой двигаются ползком) замеры доли времени неприменения СИЗОД систематично не вели, а условия работы не позволяли наблюдать за шахтёрами большую часть смены.

Для замера доли времени неиспользования СИЗОД работниками в [4] использовали термопары, реагирующие на разницу температур выдыхаемого и окружающего воздуха. В глубоких (≈ 1 км) угольных шахтах температура воздуха повышена, что может помешать использовать этот метод, поэтому мы применили датчик давления в маске и регистратор его сигналов.

Обработка результатов измерений. На развитие пневмокониозов влияет как концентрация, так и общее количество попавшей в организм пыли. Выполненные замеры КЗ показали, что и при непрерывном кратковременном применении они нестабильны (от 5 до 31); доля времени неприменения СИЗОД также была различна (от 10 до 45%). Для оценки влияния этих параметров в условиях разных угольных шахт было смоделировано использование СИЗОД.

При моделировании были сделаны следующие допущения:

1. концентрация пыли и КЗ являются логарифмически нормальными распределениями;
2. респираторы не применяют лишь при минимальной концентрации пыли.

¹ Примеры: EN 149:2017 Фильтрующие полумаски для защиты от аэрозолей; ГОСТ 12.4.294-2015 Полумаски фильтрующие для защиты от аэрозолей.

² Оптико-электронные средства оперативного контроля запылённости шахтного воздуха: URL: <https://cyberleninka.ru/journal/n/gornyy-informatsionno-analiticheskiy-byulleten-nauchno-tehnicheskij-zhurnal/#/841640>

Второе предположение позволило получить самые оптимистичные оценки эффекта от применения СИЗОД, которые на практике недостижимы – шахтёру неизвестны концентрация пыли и то, какой она будет за смену. Использовали измеренные КЗ, замеры доли времени неприменения СИЗОД и данные о запылённости в 5 разных шахтах. Обработку вели независимо разными способами. 1-й метод (Монте-Карло) был реализован на электронной таблице «Libre Office Calc» (50 тыс. итераций) и оригинальной программой «Fortran FTN95» (50 млн. итераций). 2-й метод был реализован с помощью программы «Fortran», перебиравшей > 230 диапазонов значений концентрации пыли и КЗ и для каждого их сочетания вычислявшей концентрацию в маске и вероятность её появления («прямой метод»).

Результаты

В табл. 1 показаны средние концентрации пыли в угольной шахте и в подмасочном пространстве противопылевого респиратора и средние КЗ СИЗОД (по 4 замера у 1 участника). В табл. 2 приведены измеренные доли времени неприменения полумасок, а в табл. 3 – данные о концентрации пыли в разных угольных шахтах (использовались при моделировании).

На рисунке показан результат моделирования воздействия пыли в угольной шахте «Самарская» ДТЭК «Павлоградуголь»: «прямой метод» (5 графиков), и Монте-Карло (2 вида маркеров), при КЗ: среднее геометрическое 13,5 и стандартное геометрическое отклонение (GSD) 2,03. Результаты моделирования применения СИЗОД в разных шахтах (см. рисунок), полученные совершенно разными вычислительными методами и разными программными средствами, не имеют значительных отличий. Наименьшая концентрация угольной пыли во вдыхаемом воздухе была получена в шахте с наименьшей концентрацией пыли в воздухе.

Расчёты показали, что изменение средней геометрической концентрации пыли в угольной шахте практически не влияет на степень снижения пылевой нагрузки за счёт СИЗОД. Изменение среднего геометрического КЗ пропорционально влияло на пылевую нагрузку при постоянном применении СИЗОД и слабо – при времени применения 50%. Влияние изменения GSD (у концентрации пыли в шахте и у КЗ) на уменьшение поступления пыли в органы дыхания показано в табл. 4.

Попытка вычислить вероятность развития пневмокониоза для известной концентрации угольной пыли во вдыхаемом воздухе с помощью метода НИИ медицины труда окончилась неудачей: почти во всех случаях концентрация пыли под маской противопылевого респиратора превышала

Таблица 1 / Table 1

Средние коэффициенты защиты противопылевых респираторов Average Coefficients of Protection of Anti-Dust Respirators

Участник Participant	Концентрация пыли, мг/м ³ Dust concentration, mg/m ³		Коэффициент защиты Protection coefficient (PF)
	в шахте in the mine	в подмасочном пространстве in under-the-mask space	
Оператор комбайна Combine operator (1)	171.3	13.9	12.4
Оператор комбайна Combine operator (2)	195	11.9	10.5
Шахтёр Miner (1)	84.5	8.8	10.4
Шахтёр Miner (2)	99	9	12.5
Шахтёр Miner (3)	100.3	7.9	13.2
Шахтёр Miner (4)	90.8	9.3	10.5
Практикант Trainee (1)	91	6.8	12.4
Практикант Trainee (2)	110.3	12.7	8.7

Таблица 2 / Table 2

Доля времени (% от смены 6 ч) неприменения СИЗОД шахтёрами Time fraction (% of a 6-hour shift) of non-use of personal protective equipment for respiratory organs (PPERO) by miners

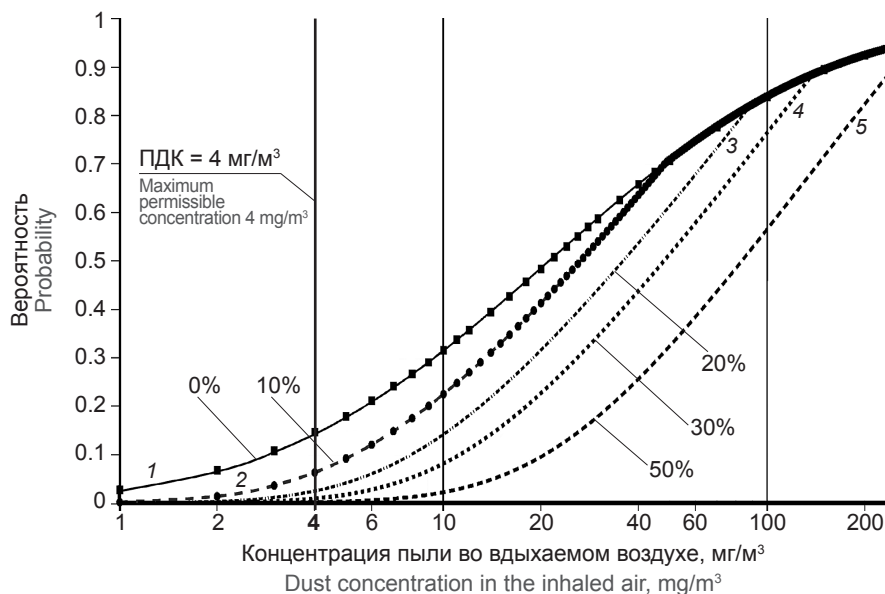
Time fraction (% of a 6-hour shift) of non-use of personal protective equipment for respiratory organs (PPERO) by miners					
Замер Metering	Доля Fraction	Замер Metering	Доля Fraction	Замер Metering	Доля Fraction
1	24.6	6	13.3	11	15.4
2	17.9	7	21.3	12	18.8
3	10.8	8	27.5	13	25.4
4	14.6	9	45.4	14	30.8
5	10.4	10	38.3	15	27.9

Таблица 3 / Table 3

Концентрация пыли в шахтах

Dust concentration in mines

Шахта Mine	Концентрация, среднее геометрическое, мг/м ³ Concentration, geometric mean, mg/m ³	Стандартное геометрическое отклонение Geometric standard deviation
Шахта «Капитальная» Государственного предприятия «Мирноградуголь» Mine Capital State Enterprise "Mirnogradugol"	317	5
Шахта «Алмазная» Донбасской топливно-энергетической компании «Добропольеуголь» Almaznaya Mine of the Donbass Fuel and Energy Company (DFEC) "Dobropolyeugol"	305	3
Шахта «Самарская» Донбасской топливно-энергетической компании «Павлоградуголь» Samsarskaya Mine of the Donbass Fuel and Energy Company (DFEC) "Pavlogradugol"	286	4
Шахта «Кураховская» Донбасской топливно-энергетической компании «Селидовуголь» Mine "Kurakhovskaya" of the Donbass Fuel and Energy Company (DFEC) "Selidovugol"	212	4
Шахта «Лесная» Горно-химического комбината «Львовуголь» Mine "Lesnaya" Mining and chemical combine "Lvovugol"	164	2



Результаты вычислений «прямым» методом для доли времени неприменения СИЗОД (линии):

- 1 – непрерывное применение СИЗОД
- 2 – 10% рабочей смены
- 3 – 20% рабочей смены
- 4 – 30% рабочей смены
- 5 – 40% рабочей смены

The results of calculations by the "direct" method for a fraction of the time of non-use of the means of personal respiratory protection equipment (lines):

- 1 – continuous application non-use:
- 2 – 10% working shift
- 3 – 20% working shift
- 4 – 30% working shift
- 5 – 40% working shift

Вычисления методом Монте-Карло:

- – электронная таблица «Libre Office Calc», непрерывное применение СИЗОД, 50 000 итераций
- – программа Fortran, неприменение СИЗОД 10% рабочей смены, 500 000 итераций

Monte-Carlo calculations:

- – spreadsheet «Libre Office Calc», continuous use of personal respiratory protection equipment, 50 000 iterations
- – program Fortran, non-use of personal respiratory protection equipment 10% working shift, 500 000 iterations

Моделирование воздействия угольной пыли в «Шахта Самарская» «ДТЭК Павлоградуголь».

Modeling the impact of coal dust in the «Samarskaya Mine» «DTEK Pavlogradugol».

Таблица 4 / Table 4

Снижение пылевой нагрузки* при использовании СИЗОД (при средних геометрических: концентрация угольной пыли 200 мг/м³ и КЗ 13,5)

Reducing dust load* when using PPERO (under geometric mean concentration of coal dust of 200 mg/m³ and PF of 13.5)

GSD K3 GSD PF	GSD концентрации угольной пыли в шахте GSD Coal dust concentration in a mine				
	коэффициент защиты protection coefficient				
	1.5	2	3	4	5
	0,5 смены (0,2 смены) 0.5 shifts (0.2 shifts)				
1.5	2.55 (5.73)	3.3 (7.4)	4.89 (9.66)	6.4 (10.89)	7.71 (11.54)
2	2.49 (5.33)	3.19 (6.69)	4.6 (8.49)	5.89 (9.4)	6.69 (9.87)
3	2.35 (4.56)	2.94 (5.48)	4.03 (6.57)	4.95 (7.08)	5.65 (7.33)
4	2.24 (4.02)	2.74 (4.69)	3.62 (5.43)	4.31 (5.77)	4.81 (5.93)

Примечание. * Кратность снижения при неприменении СИЗОД: 0,5 смены (0,2 смены).

Note. * Multiplicity of reduction in the case of non-use of PPERO: 0.5 shifts (0.2 shifts).

максимальную, которая может быть использована во время проведения специальной оценки труда.

Также была предпринята попытка исследования риска развития пневмокониоза с помощью другой методики [10]. Для вычислений были взяты данные по шахтам предприятия «ДТЭК Павлоградуголь» (для доли времени неприменения респиратора 30% средняя концентрация пыли во вдыхаемом воздухе 89 мг/м³ (с учётом носки СИЗОД), пыль слабофиброгенная, временной шаг 1 год, ПДК 4 мг/м³, 250 смен в году, смена 6 ч, коэффициент тяжести заболевания (антракосиликоз, табл. 15.4 [10]) 0,4. Так как данных о том, как распределена доля времени неприменения СИЗОД среди горнорабочих, пока нет, количество замеров КЗ на рабочих местах ограничено, и данных для оценки распределения средних КЗ среди горнорабочих (в сочетании с данными о доле времени неприменения) тоже пока нет, расчёты выполнены для средних значений – как первое приближение (табл. 5). У подгрупп работников могут быть заметно отличающиеся результаты (при работе в тех же условиях).

Значения вероятности и риска в ячейке относятся к случаям выполнения тяжёлой работы (вверху) и работы средней тяжести (внизу). Видно, что уже на 4-м году работы в таких условиях и вероятно-типичном применении СИЗОД риск может стать высоким (непереносимым, >1%).

Таблица 5 / Table 5

Вероятность развития пневмокониоза (%) и оценка индивидуального риска (%) для горнорабочих шахты «Самарская» ДТЭК «Павлоградуголь»

The likelihood of developing pneumoconiosis (%) and individual risk assessment (%) for miners of the Samarskaya Mine DFEC "Pavlogradugol"

Показатель Indicator	Стаж работы, лет Work experience, years									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Вероятность Likelihood	0.73 0.49	1.46 0.99	2.2 1.48	2.9 2	3.6 2.4	4.4 3	5.1 3.4	5.8 3.9	6.6 4.4	7.3 4.9
Риск Risk	0.29 0.2	0.59 0.4	0.88 0.6	1.17 0.8	1.47 0.98	1.76 1.2	2.05 1.4	2.35 1.6	2.64 1.8	2.93 2

Обсуждение

Вдыхание нерастворимой пыли приводит к развитию неизлечимого и необратимого заболевания – пневмокониоза. Социально-экономические условия сегодня не позволяют на большинстве угольных шахт снизить загрязнённость воздуха до ПДК и заставляют искать другие способы защиты. Наши результаты показали, что как при непрерывной носке, так и при неприменении СИЗОД часть смены (оптимистичная оценка) запылённость вдыхаемого воздуха превысит ПДК в большинстве случаев, снижение пылевой нагрузки до приемлемого уровня за счёт использования противопылевых респираторов маловероятно, и что декларируемая их высокая эффективность не подтверждается на практике.

Для снижения риска развития пневмокониоза в Инструкции НПАОП 10.0-5.08-04 [11] предписывается регистрировать запылённость в угольной шахте и стаж работы шахтёра в таких условиях (для определения пылевой нагрузки с целью ограничения стажа). Влияние СИЗОД на воздействие пыли учтено коэффициентом 0,1, то есть ожидается, что КЗ респиратора 10, но это научно не обосновано. Измерения показали, что (с учётом времени неприменения СИЗОД) воздействие пыли может снизиться, например, лишь в 3 раза.

До получения более полной информации можно рекомендовать изменить коэффициент, учитывающий влияние СИЗОД в [11], до 0,3. Может быть, улучшение СИЗОД (например, разработка надувных обтюраторов, обеспечивающих плотное прилегание без чрезмерного дискомфорта, подача воздуха в лицевую часть) повысит эффективность СИЗОД (как вспомогательного средства защиты). Но пока шахтёры продолжают применять устаревшие модели полумасок противопылевых респираторов, не соответствующие антропометрическим параметрам их лиц и порой разработанные ещё в 1960-х годах. Использованный метод расчёта воздействия пыли позволяет при проведении замеров корректировать оценку воздействия с учётом условий в конкретной угольной шахте (нестабильность запылённости, доля времени неприменения СИЗОД).

Приведённые выше вычисления и рассуждения имеют один недостаток: повторные замеры КЗ у рабочих выявили наличие среди них подгруппы, в которой эффективность защиты ниже средней [12] (при непрерывной носке СИЗОД). Отчасти это видно в табл. 1. То, что у разных работников регистрировалась разная доля времени неприменения СИЗОД, дополнительно увеличивает «неравномерность» КЗ и не позволяет использовать полученные результаты для точной оценки пылевой нагрузки у отдельного работника.

График (см. рисунок) показывает, что непрерывное применение СИЗОД может снизить воздействие угольной пыли. Но доля времени неприменения полумасок (см. табл. 3) меньше, чем в Великобритании и США, и согласуется с данными авторов: 7–15%³; 30–85% [13]; 47–58% [14]; Великобритания: ≥79% [15], более половины шахтёров не используют респираторы; США: 72% [16] в забое, в других местах больше. Повышение доли времени применения СИЗОД невыполнимо и не согласуется с практикой респираторной защиты в развитых странах.

Требования к респираторной защите шахтёров в США обязывают работодателя выдавать за свой счёт респираторы, но не обязывают использовать их непрерывно: ожидается, что полумаска будет надеваться при кратковременном сильном увеличении запылённости (параграф 70.305 [17], что достижимо на практике). Стандарт Великобритании⁴ предупреждает: выбор СИЗОД без подачи воздуха в маску не позволит добиться непрерывного использования респиратора в течение смены.

³ Никитенко Е.А. Прогноз динамики риска заболеваемости шахтёров пневмокониозом в зависимости от темпов проходки горных выработок. Автореферат дисс. М., 2005.

⁴ 7.3.2.3 Wear duration. In: BS 4275-1997 Guide to implementing an effective respiratory protective device programme. London, BSI, 1997.

Санитарные нормы ограничивают среднесменное, а не максимально разовое воздействие фиброгенной пыли. Оказалось, что в Украине и в Российской Федерации (на 2018 г.) нет средств измерения среднесменной концентрации угольной пыли в зоне дыхания шахтёров в метаноопасных угольных шахтах. Кроме того, существующие методы позволяют оценить запылённость, но результат становится известен лишь после обработки замера. С февраля 2017 г. работодатели в США обязаны применять персональный пылемер «PDM»⁵, измеряющий запылённость непрерывно [18]. Уже первые случаи его применения показали, что своевременное получение объективной информации о концентрации пыли позволяет снизить число случаев превышения ПДК в ~10 раз [19]. Разработка аналога в РФ, похоже, не достигла цели [20].

И.Т. Мухметзанов и соавт. [21] описали моделирование эффективности СИЗОД, проводимое в том числе для «оценки реальных экспозиций... при управлении рисками... в запылённых рабочих зонах». Работу, направленную на снижение риска развития неизлечимых профзаболеваний, можно только приветствовать. Но вызывает беспокойство тот факт, что ни в статье, ни в разделе 4 диссертации (Мухметзанов) не указан способ получения исходных данных для расчётов. Во время работы основной путь поступления пыли в органы дыхания (зазоры между маской и лицом) меняются непредсказуемым образом.

Среди более 1000 статей о СИЗОД, опубликованных в: Journal of the International Society for Respiratory Protection и в журналах издательств Taylor & Francis, Oxford University Press и Springer за последние ≈60 лет, мы не встретили ни одной, где хотя бы пытались определить размер зазора. В [20] не упомянуто, что авторы ведут работу в этом направлении. Так как точность результата зависит от исходных данных, то непонятно, как планируется получать адекватные результаты при, похоже, полном отсутствии и достоверных исходных данных и методов их получения.

Заключение

1. На 2019 г. в РФ и в Украине отсутствует адекватное оборудование для определения пылевой нагрузки в метаноопасных угольных шахтах.
2. Показано, что значения КЗ противопылевых респираторов в условиях угольных шахт Украины соответствуют результатам аналогичных западных исследований, но не соответствуют декларируемым частью авторов.
3. Установлена доля времени неприменения СИЗОД в условиях глубоких шахт. Она ниже, чем в развитых странах, и схожа с приводимой во многих публикациях.
4. Измерения и моделирование показали, что концентрация пыли в маске противопылевого респиратора при непрерывном применении обычно превышает ПДК и что снизить запылённость вдыхаемого воздуха до ПДК за счёт СИЗОД не удастся.
5. Разработаны математическая модель и программа для оценки эффекта от применения СИЗОД в известных условиях угольных шахт. Результаты её использования позволяют предположить изменение коэффициента (учитывающего влияние СИЗОД) с 0,1 до 0,3, что схоже с оценками [14], в 2–7 раз.

Предложения по улучшению защиты органов дыхания шахтёров от угольной пыли

1. Улучшить надзор за исправностью и применением средств коллективной защиты от пыли как главного средства профилактики пневмокониозов.

⁵ A Rule by the Mine Safety and Health Administration on 05/01/2014. URL: <https://www.federalregister.gov/articles/2014/05/01/2014-09084/low-ering-miners-exposure-to-respirable-coal-mine-dust-including-continuous-personal-dust-monitors#h-12>

2. Разработать персональный пылемер, позволяющий определить концентрацию угольной пыли в зоне дыхания в реальном масштабе времени (с индикацией показаний), и применять его вместе с видеорегистратором для контроля условий труда и действий работника при выполнении производственных функций, влияющих на увеличение концентрации угольной пыли.

3. Разработать взрывобезопасный персональный насос для замеров среднесменной запылённости в зоне дыхания в метаноопасных угольных шахтах.

4. Повысить качество медосмотров всех работающих в загрязнённой атмосфере, не допуская их проведение вне центров профпатологии.

5. Разработать и внедрить требования к выбору и применению СИЗОД работодателем, используя аналогичные научно обоснованные требования США. В частности, для ограничения области допустимого применения СИЗОД использовать результаты замеров КЗ на рабочих местах, а не результаты только математического моделирования.

6. Продолжить работы по совершенствованию СИЗОД.

Литература

(п.п. 4, 5, 7–9, 12, 15–19 см. References)

1. Булгаков Ю.Ф., Овчаренко В.Л. *Пылевая опасность угольного производства*. Донецк: Цифровая типография; 2017.
2. Петрянов И.В., Кошечев В.С., Басманов П.И., Борисов Н.Б., Гольдштейн Д.С., Шатский С.Н. и соавт. «Лепесток». *Лёгкие респираторы*. М.: Наука; 2015.
3. Кузьмичев А.С., ред. *Справочник по борьбе с пылью в горнодобывающей промышленности*. М.: Недра; 1982.
6. Кириллов В.Ф., Филин А.С., Чиркин А.В. Обзор результатов производственных испытаний средств индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД). *Токсикологический вестник*. 2014; (6): 44–9.
10. Зайцева Н.В., Шур П.З., Алексеев В.Б., Шляпников Д.М., Кирьяков Д.А., Носов А.Е. и соавт. Этиология и оценка факторов риска профессиональных заболеваний лёгких. В кн.: Измеров Н.Ф., Чучалин А.Г., ред. *Профессиональные заболевания органов дыхания*. М.: ГЭОТАР-Медиа; 2015.
11. НПАОП 10.0-5.08-04. Инструкция по замеру концентрации пыли в шахтах и учета пылевых нагрузок; 2004.
13. Субботин В.В., Ткачев В.В. Использование фильтров респираторов в целях характеристики пылевого фактора на угольных шахтах. В кн.: Бульда Б.В., ред. *Тезисы докладов Всесоюзной конференции «Совершенствование охраны труда в народном хозяйстве республик Средней Азии»*. Ташкент; 1988.
14. Егоров П.В., Ниренбург К.Г., Давыдова Н.Н., Дятлова Л.А. Совершенствование горной техники, организации труда в свете медико-биологических аспектов здоровья шахтёров. *Безопасность труда в промышленности*. 1991; (12): 34–6.
20. Кудряшов В.В., Поздняков Г.А. Перспективы производства приборов пылевого контроля. *Безопасность труда в промышленности*. 1995; (1): 23–6.
21. Мухметзанов И.Т., Зарипов Ш.Х., Фатхутдинова Л.М., Гриншпун С.А. Осаждение мелкодисперсных пылевых частиц в дыхательном тракте с использованием средств индивидуальной защиты. *Медицина труда и промышленная экология*. 2017; (7): 56–60.

References

1. Bulgakov Yu.F., Ovcharenko V.L. *Dust in the Coal Mines [Pylevaya opasnost' ugol'nogo proizvodstva]*. Donetsk: Tsifrovaya tipografiya; 2017. (in Russian)
2. Petryanov I.V., Koshchev V.S., Basmanov P.I., Borisov N.B., Gol'dshteyn D.S., Shatskiy S.N., et al. *Filtering Facepiece «Lepestok» [«Lepestok». Legkie respiratory]*. Moscow: Nauka; 2015 (in Russian)
3. Kuz'michev A.S., ed. *Handbook on Dust Control in Mining Industry [Spravochnik po bor'be s pyl'yu v gornodobyvayushchey promyshlennosti]*. Moscow: Nedra; 1982. (in Russian)
4. Harris H.E., DeSieghardt W.C., Burgess W.A., Reist P.C. Respirator usage and effectiveness in bituminous coal mining operations. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 1974; 35(3): 159–64. <https://doi.org/10.1080/0002889748507018>
5. Kissel F.N. *Handbook for Dust Control in Mining*. Cincinnati: NIOSH Publication No. 2006-147; 2006.
6. Kirillov V.F., Filin A.S., Chirkin A.V. Overview of industrial testing outcome of respiratory organs personal protection equipment. *Toksikologicheskij vestnik*. 2014; (6): 44–9. (in Russian)
7. Golin'ko V.I., Naumov M.M., Cheberyachko S.I., Radchuk D.I. The evaluation of the filtering facepieces, approved in accordance with European standards. *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost'*. 2011; 5: 118–21. (in Ukrainian)
8. OSHA's Respiratory Protection Standard 29 CFR 1910.134.
9. Vincent J.H. *Aerosol Sampling. Science, Standards, Instrumentation and Applications*. New York: John Wiley and Sons; 2007.
10. Zaytseva N.V., Shur P.Z., Alekseev V.B., Shlyapnikov D.M., Kir'yakov D.A., Nosov A.E., et al. Chapter 4. Etiology and risk assessment of occupational lung diseases. In: Izmerov N.F., Chuchalin A.G., eds. *Occupational Diseases of the Respiratory System [Professional'nye zaboлевaniya organov dykhaniya]*. Moscow: GEOTAR-Media; 2015. (in Russian)
11. NPAOP 10.0-5.08-04. Instructions for measuring the concentration of dust and the dose of its impact; 2004. (in Russian)
12. Nicas M., Neuhaus J. Variability in respiratory protection and the assigned protection factor. *J. Occup. Environ. Hyg.* 2004; 1(2): 99–109. <https://doi.org/10.1080/15459620490275821>
13. Subbotin V.V., Tkachev V.V. Respirators as a means for dust concentration measurement in the coal mines. In: Bul'da B.V., ed. *Abstracts of the All-Union Conference «Improving Occupational Health and Safety in the Republics of Central Asia» [Tezisy докладov Vsesoyuznoy konferentsii «Sovershenstvovanie okhrany truda v narodnom khozyaystve respublik Sredney Azii»*. Tashkent; 1988. (in Russian)
14. Egorov P.V., Nirenburg K.G., Davydova N.N., Dyatlova L.A. Improving mining equipment and mining methods for save the miners' health. *Bezopasnost' truda v promyshlennosti*. 1991; (12): 34–6. (in Russian)
15. Howie R., Walton W. Practical aspects of the use of respirators in the British coal mines. In: Ballantyne B., Schwabe P., ed. *Respiratory Protection*. London-New York: Chapman & Hall; 1981: 287–98.
16. Jennison E.A., Odencrantz J.R., Sembower K., Petsonk E.L. Self-reported use of respiratory protection among a cohort of underground bituminous coal miners. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 1996; 57(2): 191–5. <https://doi.org/10.1080/15428119691015133>
17. Code of Federal Regulations. Title 30 Part 70. Underground coal mines; 1999.
18. Volkwein J.C., Vinson R.P., Page S.J., McWilliams L.J., Joy G.J., Mischler S.E., et al. Laboratory and Field Performance of a Respirable Personal Dust Monitor. Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, DHHS (NIOSH). 2006-145, RI 9669.
19. Mining Feature: CPDM Helps Coal Miners Avoid Hazardous Dust. The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH); 2016. Available at: <https://www.cdc.gov/niosh/mining/features/CPDMhelpsminersavoiddust.html>
20. Kudryashov V.V., Pozdnyakov G.A. Development of an instruments for a dust concentration measuring. *Bezopasnost' truda v promyshlennosti*. 1995; (1): 23–6. (in Russian)
21. Mukhmetzanov I.T., Zariyov Sh.Kh., Fatkhutdinova L.M., Grinshpun S.A. Precipitation of low-dispersion dust particles in respiratory tract by individual protective means usage. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2017; (7): 56–60. (in Russian)