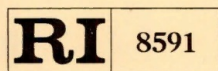


Горное Бюро *Bureau of Mines*

Отчёт об исследовании № 8591



Bureau of Mines Report of Investigations/1981

Protection Factors of the Airstream
Helmet

By Andrew B. Cecala, Jon C. Volkwein,
Edward D. Thimons, and Charles W. Urban



UNITED STATES DEPARTMENT OF THE INTERIOR

**Коэффициенты защиты фильтрующего
противопылевого СИЗОД с принудительной
подачей воздуха в шлем *Airstream Helmet***

Protection Factors of the Airstream Helmet

Авторы: Andrew B. Cecala, Jon C. Volkwein, Edward D. Thimons, and Charles W. Urban

Министерство внутренних дел США *United States Department of the interior*

James G. Watt, Secretary

Горное Бюро *Bureau of Mines*

Robert C. Horton, Director

This publication has been cataloged as follows:

Protection Factors of the Airstream Helmet
(Report of Investigation / United States. Bureau of Mines)
Includes bibliographical references.
Supt. of Docs. No. I 28.23:8591.

1. Mine safety – Equipment and supplies. 2. Mine dusts. 3. Helmets.
I. Cecala, Andrew B. II. Series: Report of Investigations (United States. Bureau of Mines) ; 1981

TN23.U43 [TN295] 622s [622'.8] 81-607849 AACR2

Содержание

<u>Реферат</u>	3
<u>Введение</u>	4
<u>Испытания СИЗОД в аэродинамической трубе</u>	5
<u>Результаты испытаний в аэродинамической трубе</u>	6
<u>Испытания в шахтах</u>	8
<u>Результаты испытаний в шахтах</u>	8
<u>Обсуждение</u>	10
<u>Заключение</u>	11
<u>Прилож. А. Оптимальное место замера загрязнённости воздуха, окружающего работника</u>	11
<u>Прилож. В. Влияние большой скорости движения воздуха на эффективность циклона</u>	12
<u>Приложение С. Испытания на рабочих местах</u>	14

Иллюстрации

<u>Фиг. 1.</u> Фильтрующий СИЗОД с принудительной подачей воздуха в шлем <i>Racal Airstream Helmet</i>	3
<u>Фиг. 2.</u> Испытания шлема в аэродинамической трубе	4
<u>Фиг. 3.</u> Положение шлема по отношению к потоку воздуха (4 случая)	5
<u>Фиг. 4.</u> Влияние скорости и направления движения воздуха на (эффективность) СИЗОД	7
<u>Фиг. А-1.</u> Влияние потока воздуха, выходящего из СИЗОД, на результаты измерений загрязнённости воздуха пробоотборником в зоне дыхания	11
<u>Фиг. В-1.</u> Схема лабораторной установки для испытания пылемеров	12
<u>Фиг. В-2.</u> Экранированный циклон	13
<u>Фиг. В-3.</u> Сравнение результатов для экранированного циклона и циклона без экрана	13
<u>Фиг. С-1.</u> Расположение места отбора проб с помощью циклона	14

Таблицы

<u>1. Уменьшение концентрации пыли в зависимости от скорости и расположения</u>	7
<u>2. Эффективность СИЗОД при нормальной скорости воздуха</u>	9
<u>3. Эффективность СИЗОД при большой скорости воздуха</u>	10
<u>4. Отличия в результатах измерений персональных пробоотборников, установленных со стороны, обдуваемой потоком воздуха, и противоположной, при большой скорости воздуха в шахте</u>	10

Коэффициенты защиты фильтрующего СИЗОД с подачей воздуха в шлем *Airstream Helmet* *Protection factors of the airstream helmet*

Авторы: Andrew B. Cecala¹, Jon C. Volkwein², Edward D. Thimans³ and Charles W. Urban⁴

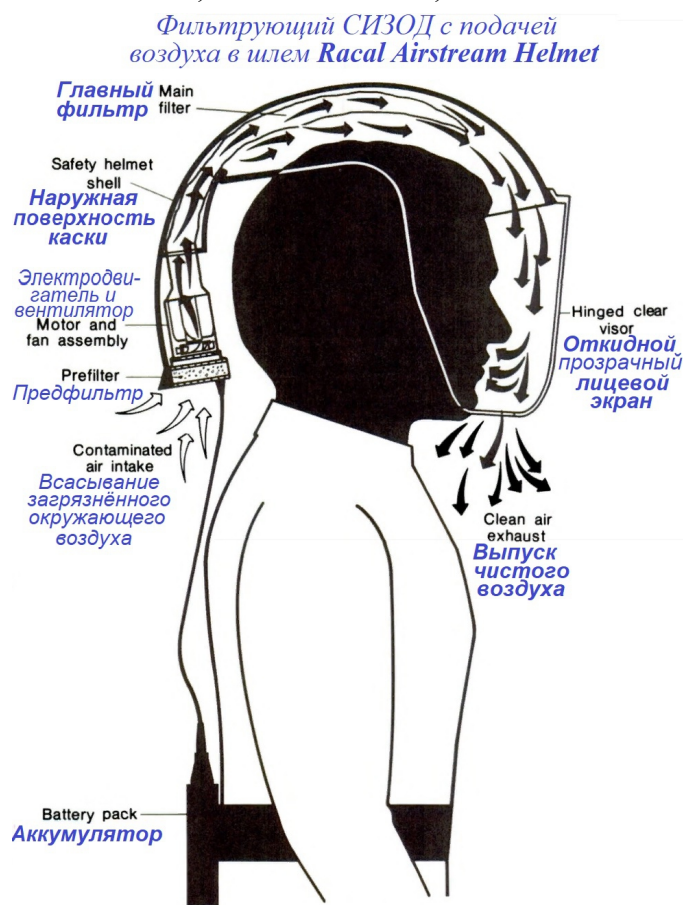


FIGURE 1. - RACAL airstream helmet.

Фиг. 1. Фильтрующий СИЗОД с принудительной подачей воздуха в шлем *Racal Airstream Helmet*

Реферат

Для определения защитных свойств СИЗОД *Racal Airstream Helmet* Горное Бюро (*Bureau of Mines*) провело его испытания в лабораторных и производственных условиях (в шахте). Испытания в лабораторных условиях показали, что с ростом скорости окружающего воздуха защитные свойства СИЗОД снижаются. При испытаниях в нескольких очистных забоях угольных шахт, при скорости воздуха не выше 2,03 м/с (400 футов в минуту; 7,315 км/ч), за счёт носки СИЗОД, концентрация пыли (мелкая, респирабельная фракция) во вдыхаемом воздухе (в среднем) снизилось на 84% (коэффициент защиты $KЗ = 6,2$). Но при увеличении скорости движения воздуха до 6,1 м/с (1200 футов в минуту; 22 км/ч) в другой шахте эффективность значительно снизилась - что соответствует результатам, полученным в лабораторных условиях.

1 Горный инженер (*Mining engineer*)

2 Учёный-физик (*Physical scientist*)

3 Научный руководитель (*Supervisory physical scientist*)

4 Горный инженер-техник (*Mining engineering technician*). Все авторы работали в Питтсбургском исследовательском центре Горного бюро, г. Питтсбург, Пенсильвания (*Pittsburg Research Center; Bureau of Mines, Pittsburgh, Pa.*)

Введение

Этот СИЗОД был разработан английским Отделом охраны труда на шахтах (*Safety in Mines Research Establishment SMRE*⁵), после чего начал изготавливаться для продажи компанией *Racal Amplivox of England*⁶. Целью разработки было создание удобного и эффективного (*комплексного - органов дыхания, слуха и головы*) средства индивидуальной защиты. Для подачи отфильтрованного воздуха в зону дыхания в СИЗОД используется маленький вентилятор, электродвигатель питается от аккумулятора (Фиг. 1). Воздух, прошедший через 2 фильтра, подаётся под (прозрачный откидной) лицевой щиток, полностью закрывающий лицо работника.

Испытания СИЗОД в аэродинамической трубе

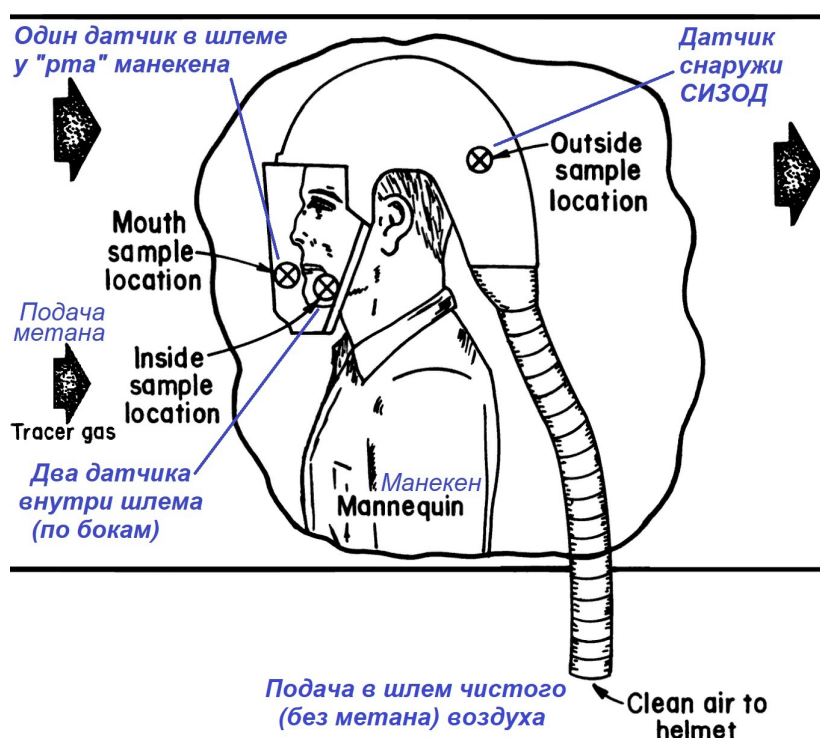


FIGURE 2. - Airstream helmet testing in wind tunnel.

Фиг. 2. Испытания шлема в аэродинамической трубе

СИЗОД испытывался в лабораторных условиях, и при неподвижном воздухе его эффективность при защите от пыли доходила до 100%⁸. Недавно в Великобритании были проведены исследования для определения эффективности этого СИЗОД⁹. А настоящее исследование проводилось Горным Бюро для определения эффективности в очистных забоях угольных шахт, при скорости воздуха до 6,1 м/с (*1200 футов в минуту; 22 км/ч*).

5 **Greenough G.K.** The Helmet Respirator - Protection for Head, Eyes, and Lungs. Symposium on Engineering Occupational Health, University of Toronto, Canada, April 1978. Tech. Paper 4, Available from Safety in Mines res. Establishment, Health and Safety Executive, Sheffield Lab, Red Hill, Sheffield, England.

6 Ссылка на изготовителя приводится лишь для справки, и не означает, что Горное Бюро рекомендует эту компанию.

7 В США этот СИЗОД можно приобрести в: *Racal Airstream Inc.*, 1151 Seven Locks RD., Rockville, Md.

8 **Treafis H.N., T.F. Tomb and H.F. Garden.** Laboratory Evaluation of the Racal Airstream Helmet. US Department of Labour, Mine Safety and Health Administration, IR 1130, 1981.

9 **Bancroft B., G.K. Greenough, J.P. Hodges and D.G. Whitelaw.** Measurement of Dust Protection and Airflow of Helmet Respirator. *The Annals of Occupational Hygiene* (1980), Vol. 23(3), pp. 295-304, DOI 10.1093/annhyg/23.3.295

Greenough G.K. Trial of the Dust Helmet in Coal Mines. *The Mining Engineer* (London), No. 209, February 1979, pp. 559-565. https://www.researchgate.net/scientific-contributions/2077183931_GK_Greenough

Испытания СИЗОД в аэродинамической трубе

Чтобы определить, как скорость окружающего воздуха, ориентация СИЗОД и расход воздуха у работника влияют на защитные свойства, были проведены испытания в аэродинамической трубе (в Питтсбургском исследовательском центре Горного Бюро). Аэродинамическая труба состоит из стеклопластиковых труб диаметром 0,76 м, подсоединённых к всасывающему отверстию вентилятора. Скорость воздуха в трубе могла достигать 8,13 м/с (1600 футов в минуту; 29,3 км/ч). При проведении испытаний СИЗОД надели на голову манекена, и разместили их в аэродинамической трубе (Фиг. 2).

Ориентация СИЗОД при испытаниях в аэродинамической трубе

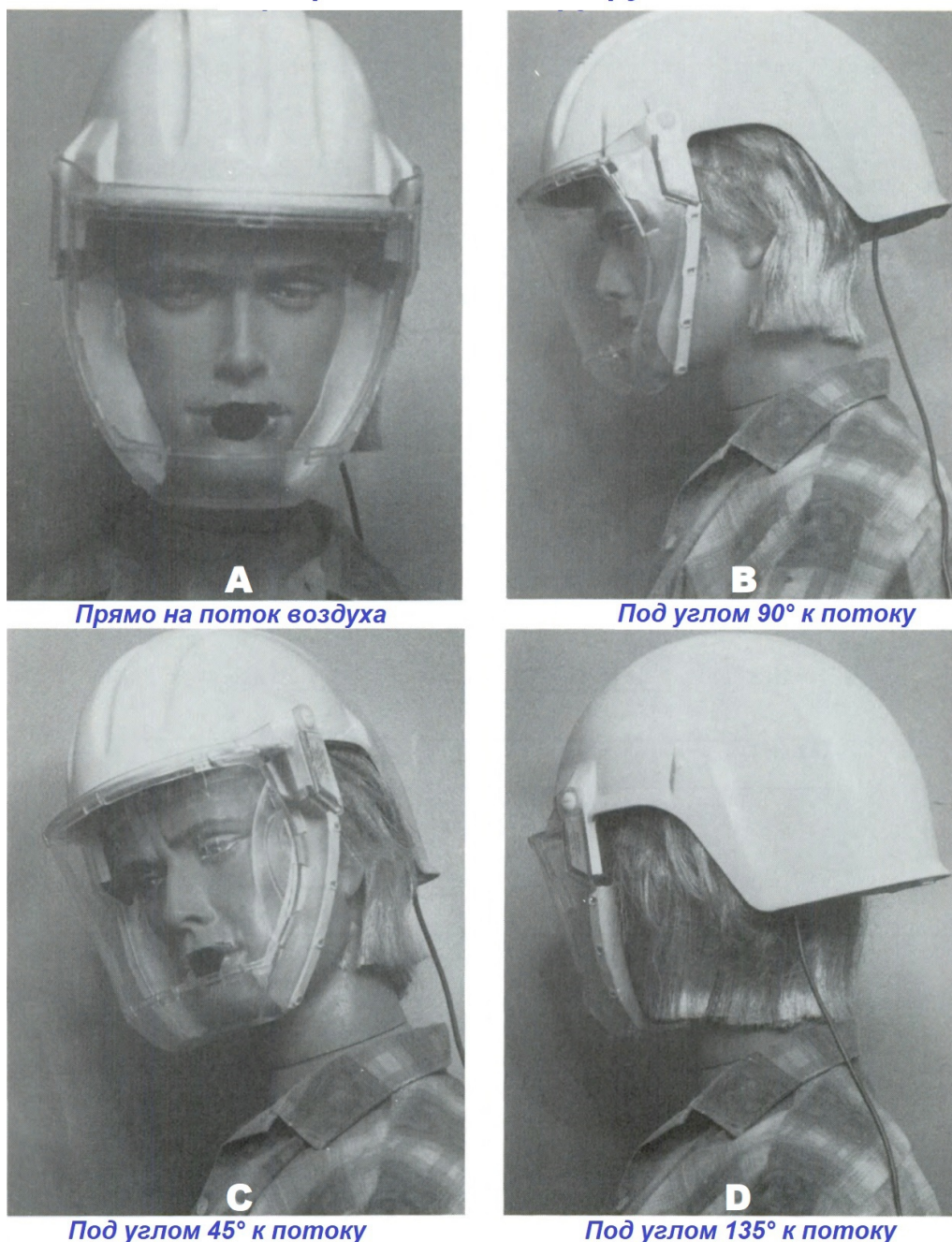


FIGURE 3. - Helmet in four positions with respect to airflow. A, Facing directly into airflow; B, facing 90° from the airflow direction; C, facing 45° from the airflow direction; D, facing 135° from the airflow direction.

Фиг. 3. Положение шлема по отношению к потоку воздуха (4 случая)

Для того, чтобы имитировать респираторную пыль (в лабораторных условиях), был использован метан. Это допустимо, так как мелкодисперсные респираторные пылинки (размером не более 10 мкм) движутся так же, как и струйки завихренного (турбулентного) воздуха¹⁰. Контрольный газ подавался на вход аэродинамической трубы и с помощью вентилятора перемешивался с всасываемым воздухом. Для определения концентрации метана использовали 5 датчиков (2 установлены на СИЗОД снаружи, и 3 внутри). Наружные датчики устанавливали по бокам от шлема, и ориентировали всасывающими отверстиями к "спине". Такое размещение было вынужденным - оказалось, что при размещении их спереди на их показания влияет поток чистого воздуха, выходящий из СИЗОД (см. [Приложение А](#)). А три внутренних датчика установили в СИЗОД справа и слева на лицевом щитке, и у "рта" манекена.

Для имитации очистки воздуха от пыли, с помощью гибкого шланга диаметром 102 мм (4 дюйма) в выпускное отверстие СИЗОД подавался чистый воздух. Во время всех испытаний расход всасываемого воздуха у СИЗОД был одинаков, 3,35 л/сек (7,1 кубических футов в минуту, 201 литр в минуту).

Скорость окружающего воздуха. Регулируя производительность вентилятора аэродинамической трубы, получали скорость воздуха 2,03; 4,06; 6,1 и 8,13 м/с (400, 800, 1200 и 1600 футов в минуту).

Дыхание. Для имитации дыхания использовалась дыхательная машина, расход воздуха от 30 до 60 л/мин, что примерно соответствует обычному расходу воздуха у шахтёра¹¹.

Ориентация шлема в потоке воздуха. Испытания проводились при 4 разных положениях шлема в потоке воздуха ([Фиг. 3](#)), которые типичны для головы оператора очистного угольного комбайна: (А) прямо на поток воздуха; (В) под углом 90° по отношению к потоку; (С) под углом 45° по отношению к потоку; (D) под углом 135° по отношению к потоку.

Результаты испытаний в аэродинамической трубе

Испытания СИЗОД в аэродинамической трубе показали следующие результаты:

1. Влияние скорости воздуха. При увеличении скорости воздуха коэффициент защиты¹² СИЗОД снизился. Это изменение наблюдалось при всех 4 положениях головы манекена по отношению к потоку воздуха. На [Фиг. 4](#) показаны средние значения коэффициента защиты шлема в зависимости от скорости воздуха и ориентации СИЗОД по отношению к потоку воздуха. Каждому маркеру соответствует средний результат 5 отдельных независимых

10 **Stein R.L., J.A. Breslin and A.J. Strazier.** Investigation of Dust Control by Ventilation Using a Scale Model. American Industrial Hygiene Association Journal, December 1974, Vol. 35(12), pp. 815-824, DOI 10.1080/0002889748507104

11 **Kamon E., Bernard T and R.L. Stein.** Steady-State Respiratory Responses to Tasks Used in Federal Testing of Self-contained Breathing Apparatus. American Industrial Hygiene Association Journal, December 1975, Vol. 36(12), pp. 886-896, DOI 10.1080/0002889758507361

12 Терминология, используемая в этом документе для описания эффективности СИЗОД:

Снижение загрязнённости вдыхаемого воздуха (%) (Contaminant Reduction) = (Концентрация загрязнений вне СИЗОД - концентрация загрязнений внутри СИЗОД) / (Концентрация загрязнений вне СИЗОД) × 100%;

Коэффициент защиты (КЗ) (Protection Factor PF) = Отношение концентрации загрязнений снаружи СИЗОД к концентрации загрязнений внутри СИЗОД, при проведении измерений в контролируемых лабораторных условиях;

Эффективный коэффициент защиты ЭКЗ (Effective Protection Factor EPF) = Отношение концентрации респираторной доли (фракции) пыли снаружи СИЗОД к концентрации респираторной пыли внутри СИЗОД, за всё время проведения (одновременных) замеров, включая те периоды времени, когда лицевой щиток был поднят, и когда был опущен. Этот ЭКЗ соответствует реальной степени защиты работников в производственных условиях.

измерений в данных условиях. После каждого измерения шлем снимали с манекена, а потом снова надевали. При скорости воздуха 2,03 м/с (400 футов в минуту) средний коэффициент защиты шлема был 10 и более - в зависимости от ориентации. А при скорости воздуха 8,13 м/с (1600 футов в минуту) средний коэффициент защиты не достигал 4.

Влияние скорости и направления движения окружающего воздуха на коэффициент защиты СИЗОД

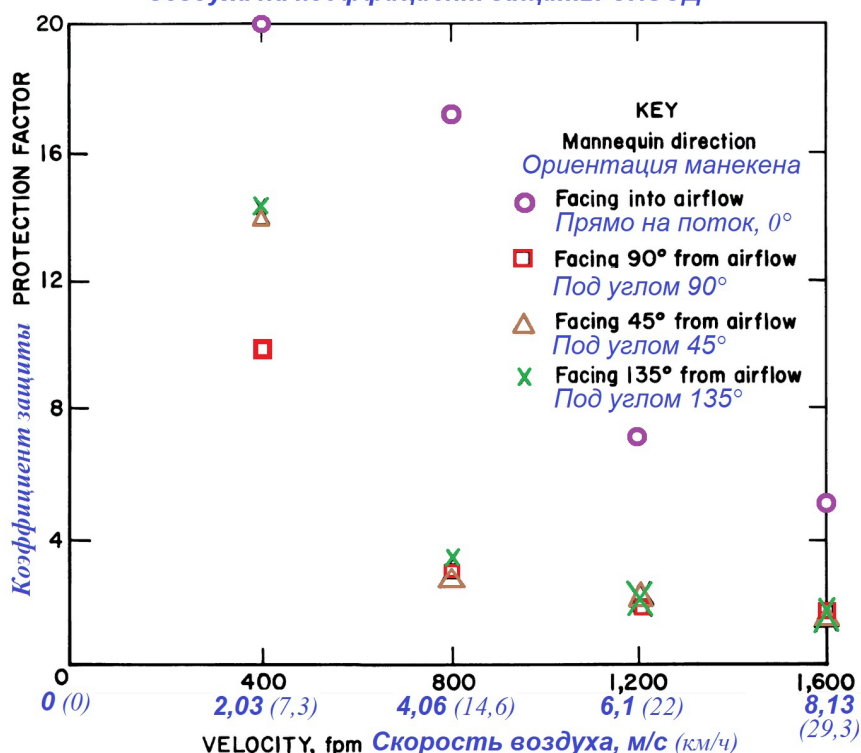


FIGURE 4. - Velocity and directional effects on the airstream helmet.

Фиг. 4. Влияние скорости и направления движения воздуха на (эффективность) СИЗОД

2. Влияние расхода воздуха. При нормальном дыхании, и расходе воздуха от 30 до 60 л/мин, изменение расхода не оказывало значительного влияния на эффективность СИЗОД. Наблюдения не выявили изменений расхода подаваемого воздуха под влиянием периодических "вдохов-выдохов".

Влияние ориентации СИЗОД в потоке воздуха. Испытания в аэродинамической трубе наглядно показали, что при изменении положения СИЗОД по отношению к потоку воздуха его защитные свойства изменяются. (По мнению авторов документа) изменение эффективности было вызвано тем, что поток окружающего воздуха создавал "поддув" окружающего загрязнённого воздуха внутрь шлема через зазоры по периметру касания уплотнения СИЗОД и головы манекена. В [таблице 1](#) показано, как ориентация СИЗОД и скорость воздуха влияли на эффективность.

Таблица 1. Снижение загрязнённости (вдыхаемого) воздуха в зависимости от скорости окружающего воздуха и ориентации СИЗОД

Скорость воздуха, м/с (фут /мин.)	Степень очистки (%) при ориентации СИЗОД в потоке:				Среднее значение для 4 ориентаций	КЗ средн.
	0°	45°	90°	135°		
2,03 (400)	99,2	92,8	89,8	93,0	93,7	15,9
4,06 (800)	94,2	65,4	65,4	70,0	73,8	3,8
6,1 (1200)	85,9	50,9	49,8	52,1	59,7	2,5
8,13 (1600)	71,5	31,9	40,5	44,8	47,2	1,9

Испытания в шахтах

СИЗОД испытывали в очистных забоях 4 разных угольных шахт, во всех использовали очистные комбайны с двумя рабочими органами (*double-drum shearers*). В трёх местах скорость воздуха в забое была менее 2 м/с (*400 футов в минуту*), что считается обычным для очистных забоев (*угольных шахт США*). А в четвёртом месте скорость воздуха была гораздо больше, порядка 6,1 м/с (*1200 футов/мин.*) - для улучшения удаления и разбавления метана.

Испытания проводили по два дня в каждом месте. Каждый день испытывали по 4 СИЗОД, которые обычно использовали оператор очистного комбайна, шахтёр, управлявший работой механизированной кровли, и два сотрудника Горного Бюро.

Результаты испытаний в шахте.

Замеры концентрации респираторной пыли снаружи СИЗОД и внутри проводились точно так же, как это ранее делали для респираторов-полумасок в *Eastern Associated Coal и Harvard School of Public Health*¹³. Для случая забоя с большой скоростью воздуха, и забоев с низкой скоростью воздуха, для замеров концентрации внутри СИЗОД использовали 2 циклона. Это позволяло определить - было ли какое-то различие в концентрации между стороной, на которую набегал поток воздуха, и противоположной. Для замеров использовали циклоны Дорр-Оливер (*Dorr-Oliver*) из нейлона, которые отделяли крупную пыль от мелкой (респираторной). При проведении замеров в условиях большой скорости воздуха в забое, входное отверстие циклона было закрыто экраном для уменьшения ошибок (возникавших из-за большой скорости воздуха). Подробности описаны в [Приложении В](#). Циклоны, установленные внутри и снаружи СИЗОД, с помощью гибких шлангов одинаковой длины соединялись с кассетами с предварительно взвешенными фильтрами (размещёнными на задней стороне СИЗОД).

Концентрацию внутри СИЗОД и снаружи вычисляли используя разницу в массе фильтров, с учётом расхода воздуха и длительности замера. Подробности описаны в [Приложении С](#).

В каждом забое замеры скорости воздуха проводили с помощью анемометра с лопатками (в проходе под механизированной кровлей). Кроме того, её ещё раз измеряли около очистного комбайна, так как более ограниченное пространство в этом месте могло её увеличить.

Результаты испытаний в шахтах

В трёх шахтах, где была нормальная (низкая) скорость воздуха, средняя концентрация респираторной пыли внутри СИЗОД была на 84% меньше, чем снаружи (эффективный коэффициент защиты 6,4). В [таблице 2](#) показаны: специальность работника, концентрация пыли снаружи и внутри СИЗОД, степень снижения запылённости вдыхаемого воздуха. Показаны результаты, полученные для всех СИЗОД.

Результаты измерений в шахте с большой скоростью движения воздуха, приведённые в [таблице 3](#), показали сильное снижение эффективности. В среднем, за два дня испытаний, снижение запылённости воздуха составило 49%, что соответствует эффективному коэффициенту защиты ЭКЗ = 2. Эффективность разных экземпляров СИЗОД заметно отличалась. Это может быть вызвано тем, что использовавшие их работники занимали разные положения по отношению к потоку воздуха. Это также может объясняться индивидуальными отличиями лиц работников и тем, насколько плотным было прилегание уплотнения СИЗОД к лицу. При увеличении скорости окружающего воздуха, оба эти параметра оказывали сильное влияние на результат.

13 Harris H.E., W.C. DeSieghardt., W.A. Burgess and P.C. Reist. Respirator Usage and Effectiveness in Bituminous Coal Mining Operations. American Industrial Hygiene Association Journal, March 1974, Vol. 35(3), pp. 159-164, DOI 10.1080/0002889748507018

Таблица 2. Эффективность СИЗОД при нормальной скорости воздуха (не выше 2 м/с)

СИЗОД (№) и специальность работника	Концентрация пыли, мг/м ³		Снижение загрязнённости воздуха, % (КЗ)
	Снаружи СИЗОД	Внутри СИЗОД	
Шахта № 1			
№ 1, оператор механизированной крепи			
День 1	0,32	2,17	85,3 (6,8)
День 2	0,46	2,22	79,3 (4,8)
№ 2, сотрудник Горного Бюро			
День 1	0,27	2,73	90,1 (10,1)
День 2	0,18	1,33	86,5 (7,4)
№ 3, сотрудник Горного Бюро			
День 1	0,48	1,62	70,4 (3,4)
День 2	0,98	1,40	30,0 (1,4)
№ 4, оператор очистного комбайна			
День 1	0,70	2,54	72,4 (3,6)
День 2	0,23	6,81	96,6 (29,4)
Шахта № 2			
№ 1, оператор очистного комбайна			
День 1	0,69	7,19	90,4 (10,4)
День 2	0,39	6,76	94,2 (17,2)
№ 2, сотрудник Горного Бюро			
День 1	0,39*	5,24	92,6 (13,5)
День 2	0,38*	8,63	95,6 (22,7)
№ 3, сотрудник Горного Бюро			
День 1	1,14*	5,38	78,8 (4,7)
День 2	0,53	6,89	92,3 (13)
№ 4, оператор механизированной крепи			
День 1	0,47	6,19	92,4 (13,2)
День 2	0,87	7,43	88,3 (8,5)
Шахта № 3			
№ 1, оператор очистного комбайна			
День 1	0,29	1,64	82,3 (5,6)
День 2	0,58	2,24	74,1 (3,9)
№ 2, сотрудник Горного Бюро			
День 1	0,51	2,69	81,0 (5,2)
День 2	0,13	2,58	95,0 (20)
№ 3, сотрудник Горного Бюро			
День 1	0,12	3,68	96,7 (30,3)
День 2	0,14	2,65	94,7 (18,9)
№ 4, оператор механизированной крепи			
День 1	0,23	0,99	76,8 (4,3)
День 2	0,15	1,16	87,1 (7,8)

* - среднее арифметическое значение двух замеров подмасочных циклонов.

Замеры подмасочной концентрации, выполненные двумя циклонами одновременно в шахте с большой скоростью воздуха, показали значительное отличие в концентрациях пыли внутри СИЗОД ([таблица 4](#)). У всех СИЗОД концентрация пыли со стороны, с которой воздух набегал на шлем, была выше, чем с противоположной стороны. Это может быть вызвано тем, что использовавшие их работники занимали разные положения по отношению к потоку

воздуха. Это также может объясняться индивидуальными отличиями лиц работников и тем, насколько плотным было прилегание уплотнения СИЗОД к лицу. При увеличении скорости окружающего воздуха, оба эти параметра оказывали сильное влияние на результат.

Таблица 3. Эффективность СИЗОД при большой скорости воздуха ($\approx 6,1$ м/с)

СИЗОД (№) и специальность работника	Концентрация пыли, мг/м ³		Снижение загрязнённости воздуха, % (К3)
	Снаружи СИЗОД	Внутри СИЗОД	
№ 1, оператор очистн. комбайна, находящийся сзади по ходу движения (Tail shearer operator)			
День 1	0,26*	1,01	74,3 (3,9)
№1, работник, обслуживающий кабели в забое (Cable handler)			
День 1	0,43*	0,91	52,7 (2,1)
№ 2, сотрудник Горного Бюро			
День 1	0,42*	0,61	31,1 (1,5)
День 2	0,44	1,39	68,3 (3,2)
№ 3, сотрудник Горного Бюро			
День 1	0,85*	1,16	26,7 (1,4)
День 2	0,48*	1,62	70,4 (3,4)
№ 4, оператор очист. комбайна, находящийся спереди по ходу движения (Head shearer operator)			
День 1	0,31	0,58	46,6 (1,9)
День 2	0,50*	0,64	21,9 (1,3)

* - среднее арифметическое значение двух замеров подмасочных циклонов.

Таблица 4. Отличия в концентрациях пыли внутри СИЗОД, полученные в шахте с большой скоростью движения воздуха (разница в замерах справа и слева внутри шлема, %).

СИЗОД	День 1	День 2
№ 1	26,6	51,6
№ 2	4,5	9,7
№ 3	36,6	65,7
№ 4	*	50,7

* - произошло отсоединение шланга у циклона, размещённого со стороны, противоположной набегающему потоку.

Были некоторые признаки того, что с ростом загрязнённости наружного воздуха эффективность СИЗОД возрастала. Так как эффективность зависит от отличия в концентрациях пыли снаружи СИЗОД и внутри, увеличение этого отличия приведёт к росту эффективности. Для уточнения необходимо провести дополнительное исследование.

Обсуждение

Проведение исследования позволило определить коэффициенты защиты СИЗОД при его носке работниками в производственных условиях, при обычной трудовой деятельности. Известно, что в условиях отсутствия движения (шлема и окружающего воздуха) его эффективность приближается к 100%. А это исследование позволило определить то, какую защиту обеспечивает СИЗОД при реальном применении, за весь период использования.

Измерения на рабочих местах подтвердили результаты, полученные в лабораторных условиях. При скорости движения воздуха в забое не выше 2 м/с, концентрация пыли внутри СИЗОД была меньше наружной на 84%. А в лабораторных условиях, при той же скорости воздуха, снижение было 94%. Нужно отметить, что при замерах в шахте отбор воздуха проводили и в те периоды времени, когда (прозрачный) лицевой щиток был опущен, и тогда, когда он был поднят работником (измеряли эффективный коэффициент защиты) - то есть, при обычном применении СИЗОД. А то, что щиток иногда поднимали - снизило эффективность защиты от пыли.

При скорости воздуха выше 2 м/с эффективность стала снижаться. При замерах в лабораторных условиях, и скорости воздуха 6,1 м/с, среднее значение эффективности для всех замеров составило 60%, что соответствует коэффициенту защиты 2,5. А в шахте, где скорость воздуха была примерно такой же, средняя эффективность была 49% (эффективный коэффициент защиты = 2). И в этих условиях эффективность на рабочих местах оказалась ниже из-за того, что лицевой щиток иногда поднимали и опускали.

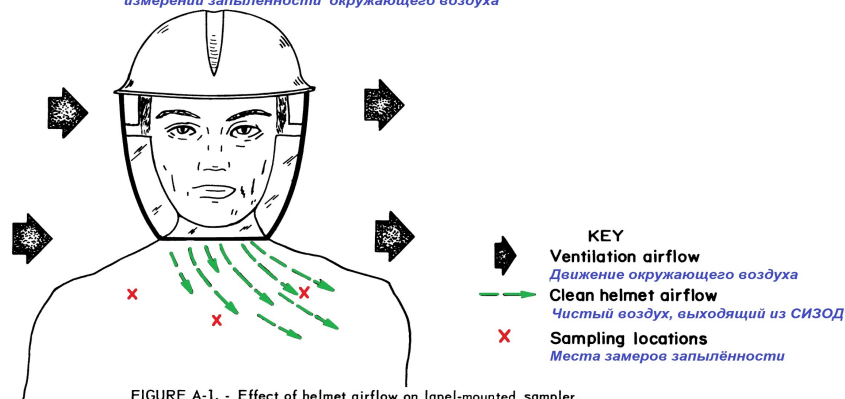
Лабораторное исследование показало, что со стороны, где загрязнённый воздух набегает на уплотнение между СИЗОД и головой, происходит его "продавливание" через уплотнение. Это подтвердили измерения в шахте с большой скоростью воздуха, т.к. концентрация респираторной пыли со стороны, с которой воздух набегал на СИЗОД, была выше, чем с противоположной.

Заключение

Были проведены испытания фильтрующего СИЗОД с принудительной подачей воздуха в шлем *Racal Airstream Helmet* в очистных забоях угольных шахт. При нормальной (низкой) скорости воздуха, менее 2 м/с, снижение концентрации респираторной пыли в СИЗОД составило в среднем 84%. При большей скорости окружающего воздуха эффективность СИЗОД снизилась. Испытания в шахте с скоростью воздуха 6,1 м/с показали среднюю эффективность 49% (для сравнения, при скорости до 2 м/с - 84%). Эти производственные результаты - согласуются с результатами лабораторных измерений.

Приложение А. Оптимальное место замера загрязнённости воздуха, окружающего работника

Влияние чистого воздуха, выходящего из СИЗОД, на результаты измерений запылённости окружающего воздуха



Фиг. А-1. Влияние потока воздуха, выходящего из СИЗОД, на результаты измерений загрязнённости воздуха пробоотборником в зоне дыхания

В одном из первых исследований, проведённых в соляной шахте, определяли наилучшее положение места забора воздуха для определения его запылённости снаружи СИЗОД. Так как большинство персональных пробоотборников (обычно) размещают у воротника куртки, мы попробовали определить, может ли чистый воздух, выходящий из СИЗОД вниз, повлиять на точность измерений. Для измерений использовали пылемер RAM-1, позволявший определять мгновенные значения концентрации пыли в реальном масштабе времени. проводили замеры в разных местах у груди шахтёра - слева, посередине и справа. По направлению движения окружающего воздуха - концентрация пыли оказывалась ниже. На [Фиг. А-1](#) показано, что выходящий из СИЗОД чистый воздух "улучшает" результат измерений. Среднее уменьшение концентрации, при сравнении замеров слева и справа, составило 69%.

Искажение результатов измерений наружной загрязнённости воздуха возникает из-за потока чистого воздуха, выходящего из СИЗОД. Чтобы устранить это, отбор проб окружающего воздуха стали проводить сзади СИЗОД.

Приложение В. Влияние большой скорости движения воздуха на эффективность циклона

Проводилась оценка точности измерения запылённости воздуха (респираторной фракцией пыли) с помощью циклонов Дорр-Оливер диаметром 10 мм при неподвижном воздухе и при небольшой скорости воздуха¹⁴. Исследования показали, что при небольшой скорости воздуха, менее 1,5 м/с (300 футов в минуту), никакого значительного влияния на результат измерений нет. Но исследований при скорости окружающего воздуха, достигавших скорости во всасывающем отверстии циклона, не проводилось. Так как мы ожидали, что при замерах в очистном забое шахты с большим выделением метана может встретиться и такая большая скорость, мы провели небольшое исследование. Его цель - свести к минимуму влияние скорости и направления движения окружающего воздуха на работу циклона.

Замеры влияния большой скорости воздуха на циклоны

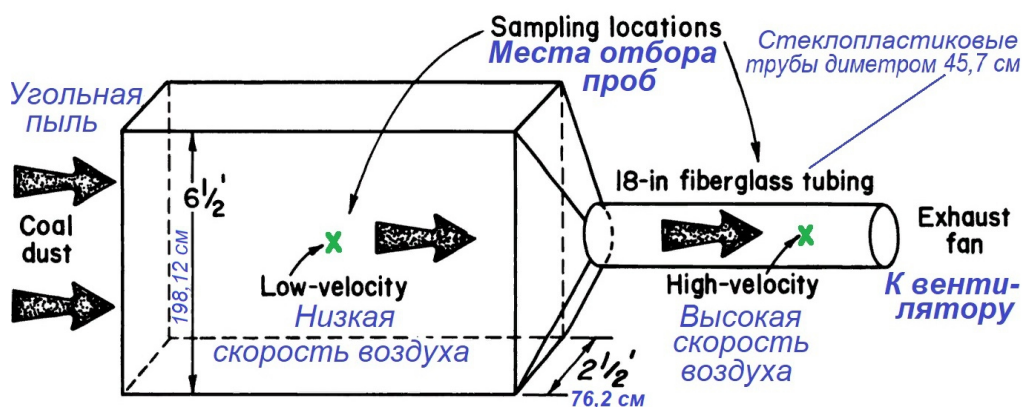


FIGURE B-1. - High-velocity cyclone testing setup.

Фиг. В-1. Схема лабораторной установки для испытания пылемеров

Для определения эффективности экранирования нейлонового циклона Дорр-Оливер диаметром 10 мм от быстрого потока окружающего воздуха проводили замеры в аэродинамической трубе, имевшей источник угольной пыли. Перед тем, как воздух поступал в секцию трубы большого сечения, угольная пыль равномерно перемешивалась с воздухом. Замеры запылённости проводили при маленькой скорости воздуха 1,27 м/с (250 футов в минуту). Затем запылённый воздух поступал в суженную часть трубы, где его скорость возрастала до 8,64 м/с (1700 футов в минуту, Фиг. В-1).

Для калибровки двух пылемеров выполнили замеры обоими приборами одновременно при маленькой скорости воздуха. затем один пылемер перенесли в секцию с большой скоростью воздуха, а оставшийся использовали как "эталон", с которым сравнивали показания другого.

Циклон диаметром 10 мм размещали в центре трубы в каждом из мест проведения замеров, и с помощью шланга присоединяли к пылемеру RAM, измерявшему запылённость в реальном масштабе времени. Пылемер был соединён с самописцем, записывавшим показания непрерывно.

Циклоны закрепляли на тонких стержнях, вставлявшихся в аэродинамическую трубу, и выступавших из неё наружу. Вращая стержень можно было направлять всасывающее отверстие циклона прямо на поток воздуха, и ставить его под углом 90° и 180°. С помощью пылемера RAM в каждом из этих положений делали замеры длительностью 3-5 минут.

14 **Breslin J.A., and Stein R.L.** Efficiency of Dust Sampling Inlets in Calm Air. American Industrial Hygiene Association Journal, August 1975, Vol. 36(8), pp. 576-583, DOI 10.1080/0002889758507296

Caplan K. J., Doemeny L.J., and Sorenson S.D. Performance characteristics of the 10 mm Respirable Mass Sampler: Part II - coal dust studies. American Industrial Hygiene Association Journal, April 1977, Vol. 38(4), pp. 162-173, DOI 10.1080/0002889778507932

Схема экранирования циклона

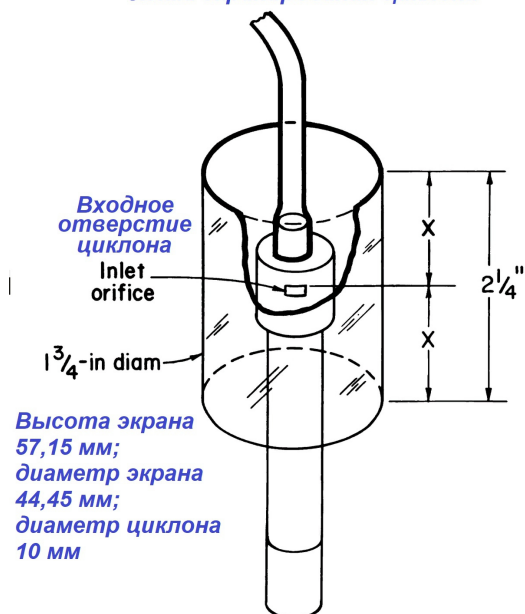
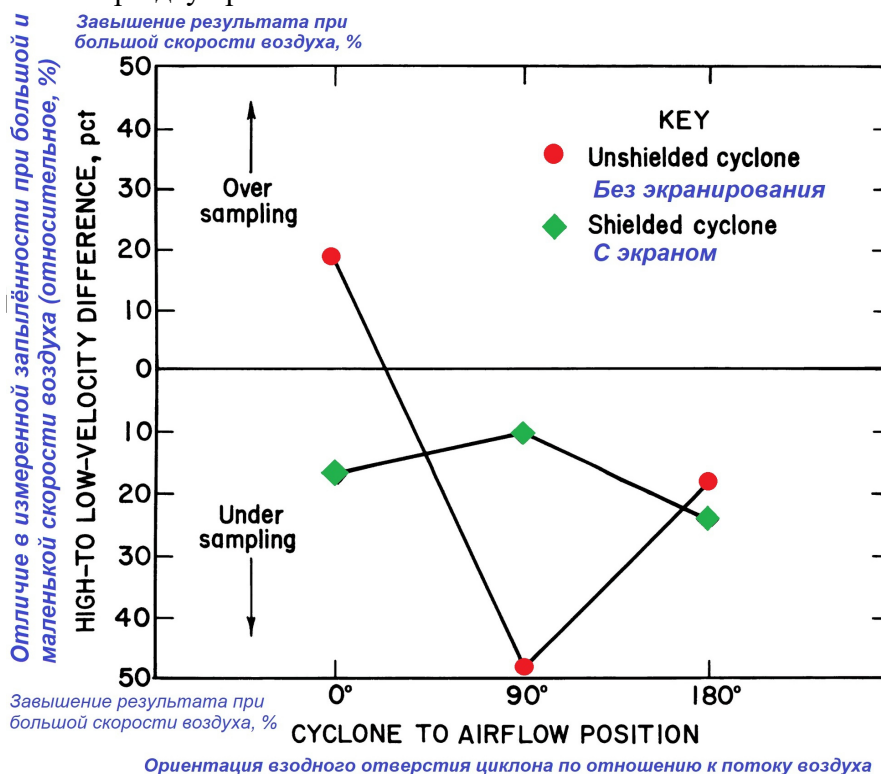


FIGURE B-2. - Shielded cyclone.

Фиг. В-2. Экранированный циклон

Замеры показали, что при ориентации отверстия циклона прямо на поток, его показания на 18% выше, чем показания "эталонного" циклона, находящегося в малоподвижном воздухе. При ориентации 90°, показания были на 48% ниже. То есть, изменение в показаниях при двух разных положениях составило 66%.



Ориентация воздушного отверстия циклона по отношению к потоку воздуха

FIGURE B-3. - Shielded versus unshielded testing results.

Фиг. В-3. Сравнение результатов для экранированного циклона и циклона без экрана

Чтобы устранить влияние большой скорости воздуха и ориентации на результаты измерений наружной запылённости (вне СИЗОД), циклоны были загорожены экраном: цилиндром, окружавшим циклон со всех сторон (Фиг. В-2). Это снизило отличие при разных

ориентациях до ~15%. На [Фиг. В-3](#) сравниваются результаты измерений циклона в малоподвижном воздухе, сделанные экранированным и не экранированным циклонами (при большой скорости воздуха). Хотя экранирование уменьшило непостоянство результатов измерений, но в целом, из-за экранирования, измеренная запылённость уменьшилась на 18% по сравнению с измеренной "эталонным" циклоном. Так как это отличие не выходит за пределы погрешности измерений, мы использовали экранированные циклоны при замерах в шахте.

Более подробное изучение работоспособности циклонов при большой скорости окружающего воздуха выходит за пределы настоящего исследования. Мы (лишь) старались уменьшить погрешность измерения из-за обдува циклона.

Приложение С. Испытания на рабочих местах

Методы измерения запылённости воздуха, использовавшиеся Горным Бюро при замерах запылённости внутри и снаружи СИЗОД, разработали лишь для исследовательских целей. При замерах запылённости (в шахтах) действующее Федеральное законодательство (США) требует, чтобы циклоны, держатель фильтра и сам фильтр были одним целым изделием¹⁵. Но ограниченность доступного пространства не позволила нам размещать такое крупное изделие внутри СИЗОД. Поэтому мы разместили циклоны внутри СИЗОД, а фильтр присоединили к нему с помощью короткого куска шланга. Чтобы снизить погрешность измерений (по отношению друг к другу, наружной и внешней измерительных систем), для замера наружной концентрации использовали точно такую же схему подключения циклонов и фильтров.



FIGURE C-1. - Cyclone sampling locations.

Фиг. С-1. Расположение места отбора проб с помощью циклона

15 US Code of Federal Regulation/ Titlw 30 - Mineral Resources; Chapter I - Mine Safety and Health Administration Department of Labor; Part 74 - Coal Mine Dust Personal Sumpler Unit. July 1, 1978, pp. 413-416.

Для измерения концентрации респираторной пыли использовался стандартный циклон диаметром 10 мм (Фиг. С-1). Трубки соединяли его с предварительно взвешенным фильтром MSA с порами 5 мкм, который находился в кассете, установленной сзади на шлем; а кассета соединялась шлангом с пробоотборным насосом. В большинстве замеров расход воздуха у персонального пробоотборного насоса *Dupont Model P-4000* был по 2 л/мин по каждой из измерительных линий. Наличие 2 линий отбора проб в 1 насосе позволило использовать 1 насос. Для присоединения (кассет с) фильтрами к шлангам использовались маленькие хомутики. Взвешивание фильтров до и после замеров проводили на аналитических весах, предварительно выдержав фильтр 2 часа в атмосфере с определённой влажностью. Для вычисления концентраций пыли в воздухе снаружи и внутри СИЗОД использовали массу фильтров до и после замеров, расход воздуха, длительность замера.

Для переноски персонального пробоотборного насоса использовали жилет рыболова с большими карманами. Для того, чтобы шланги не болтались, использовали "липучку", удерживавшую их у жилета.

Обнаружилось, что при поднятии прозрачного лицевого щитка пыль высыпалась из циклонов, закреплённых на щитке под маской. Каждого участника исследования предупредили об этой проблеме, и ни одного случая попадания крупных частиц (из циклона на фильтр) не было.