

Пылевые респираторы.

Из Лаборатории Гигиены Труда Государственного Научного Института
Охраны Труда.—Директор В. А. Левицкий.

(Предварительное сообщение.)

I.

Пригодность пылевого респиратора определяется:

- а) степенью затруднения дыхания (сопротивление),
- б) степенью проницаемости для пыли («проскок»),
- в) герметичностью (непроницаемость воздуха из-под краев респиратора),
- г) удобством ношения (легкость, небольшой размер и т. п.).

Действительно, целесообразный респиратор должен отвечать всем этим требованиям. Наличие одних положительных качеств в респираторе при отсутствии других может сделать его непригодным. Так например, респиратор может быть весьма хорош по задерживанию пыли, но плохая воздухопроводность его затрудняет дыхание, и носить его становится невозможным; а если и при небольшом сопротивлении края не плотно прилегают к лицу, то воздух будет засасываться не через фильтр, а из-под краев, и тогда ношение респиратора теряет всякий смысл.

Герметичность и удобство ношения респиратора зависят от устройства надеваемой на лицо части респиратора, его каркаса. Последний должен быть сделан из материала, который при легком весе плотно облегал бы лицо, при чем края респиратора могли бы быть изогнуты соответственно индивидуальным очертаниям лица каждого рабочего.

Сопротивление и степень проницаемости респиратора для пыли, так наз. проскок, зависят также от конструкции респиратора и, главным образом, от свойств и количества фильтрующего материала.

Фильтр, без сомнения, является центральной частью респиратора, при чем от хорошего фильтра требуется максимальная задержка пыли при минимальном затруднении дыхания — сопротивлении. В согласии с исследованиями в военное время над газовыми масками, мы отметили, что сопротивление выше 8—10 мм водяного столба вызывает заметное затруднение дыхания; оптимальным сопротивлением можно считать 4—8 мм водяного столба. Сопротивление респиратора выше 10 мм H_2O в большинстве случаев вызывает явное затруднение дыхания, которое усиливается с увеличением сопротивления.

Нами произведено исследование влияния респираторов на дыхание и дыхательный объем. В большинстве случаев число дыханий и объем выдыхаемого воздуха при сопротивлении до 10 мм H_2O отчетливо не сказывались.

Сопоставляя полученную окраску воды с приготовленными стандартными растворами берлинской лазури, мы устанавливали общее количество пыли, как задержанной, так и прошедшей через респиратор. Этот метод удобен тем, что мы можем легко и просто получать точные результаты.

Что касается пыли из берлинской лазури, то следует отметить, что она, как указывалось, весьма мелкая и, следовательно, легко проникающая через фильтр.

Мы начали с характеристики наиболее распространенного фильтрующего материала — *ваты*.

С целью выяснения величины сопротивления респираторов с ватными фильтрами, нами было испытано сопротивление 10 новых однотипных кожаных респираторов русского образца, наиболее распространенных на наших заводах. Результаты получились следующие:

Респиратор.	Сопротивление в мм H ₂ O.
№ 1	24
№ 2	20
№ 3	18
№ 4	12
№ 5—6	10
№ 7—8	8
№ 9—10	6

Сопротивление респиратора, надо считать, является прямо пропорциональным количеству фильтрующего материала — ваты, а потому мы заинтересовались весом ваты в отдельных респираторах. В двух фильтрах — с наибольшим и наименьшим сопротивлением — оказалось ваты:

	Сопротивление в мм H ₂ O.	Вес ваты в гр.
В фильтре № 1	24	1,790
» № 10	6	0,790

Если взять количество ваты на 1 кв. см. сечения фильтрующей поверхности, то окажется, что в респираторе № 1 на 1 кв. см. приходилось 0,14 гр. ваты, а в респираторе № 10 — 0,06 гр. ваты.

Таким образом, из приведенных 10 респираторов половину следует считать негодными уже по одному тому, что они с первого момента будут затруднять дыхание.

Различное, так сказать, произвольное, количество ваты в каждом отдельном фильтре является результатом небрежности фабрики, где, по видимому, вопросами сопротивления респиратора интересуются мало. Однако, вата, как фильтр, имеет еще то отрицательное качество, что при одном и том же количестве по весу ваты в фильтре мы можем получить неодинаковое сопротивление, в зависимости от того, насколько рыхло или плотно уложена вата. Так, 1 грамм ваты, вкладываемый в респиратор то рыхло, то плотно, давал сопротивление в 12, 10, 9, 8 мм. водяного столба; от 0,7 грамм ваты получали сопротивление в 6 или 8 мм. H₂O.

Следует, впрочем, отметить, что уложив в респиратор равномерно, на-глаз, особенно не уплотняя, одно и то же количество ваты, мы получали обычно близкие величины сопротивления.

С целью выяснения влияния увлажнения ватного фильтра выдыхаемым воздухом на его сопротивление, мы заставляли испытуемых дышать в респираторе как в естественных условиях, так и через стеклянную трубку. В последнем случае дыхание происходило через рот, а носовые отверстия закрывались зажимом. При дыхании через стеклянную трубку безусловно

выдыхается весь воздух через респиратор обратно, в естественных же условиях часть выдыхаемого воздуха может выйти из-под краев респиратора, особенно, когда сопротивление респиратора увеличивается.

Данные ряда опытов указывают на то, что дыхание через респиратор, в котором нет выдыхательных клапанов, в течение 5 минут, влечет за собой увеличение сопротивления на 2—6 мм. при сопротивлении респиратора в 6—8 мм. H_2O . Если же дыхание производится через стеклянную трубку, то сопротивление увеличивается еще более — до 11 мм. H_2O .

Так как дыхание производилось в чистом, незапыленном воздухе, то несомненно, что увеличение сопротивления респиратора обуславливалось увлажнением фильтрующего материала, что подтверждалось увеличением веса ваты. В тех же случаях, когда дыхание производилось через респиратор с выдыхательными клапанами, при тех же условиях опыта изменения сопротивления в подавляющем большинстве случаев не наблюдалось.

При испытании ватного фильтра на «проскок» мы получили, что при сопротивлении респиратора с ватой в 6 мм. H_2O проскок равен от 5 до 10%. Пыли задержалось при этом от 0,02 до 0,1 гр. Однако, всегда после 5-минутного просасывания через вату запыленного воздуха наблюдалось повышение сопротивления фильтра.

При сопротивлении респиратора в 4 мм. или 6 мм. H_2O сопротивление после 5-минутного опыта обычно удваивалось.

Таким образом, ватный фильтр с сопротивлением, не затрудняющим дыхания, — в 6 мм., должен на практике очень скоро вызвать затруднение дыхания от увлажнения фильтра, если нет выдыхательных клапанов, и при всех условиях — от засорения фильтра.

Уже этот один факт в значительной мере объясняет, почему рабочие так скоро перестают пользоваться респираторами, где фильтром является один и тот же, несменяемый кусок ваты.

Довольно распространенным фильтрующим материалом в респираторах является губка (греческая). Как показали наши опыты, губка также увлажняется выдыхаемым воздухом и вызывает увеличение сопротивления. Процент задержки пыли губчатым фильтром выше чем ваты: около 5% при сопротивлении в 4 мм. От засорения пылью во время 5-минутного опыта сопротивление губчатого фильтра также увеличивается в 2—2,5 раза.

В качестве фильтров нами испытывалась шерстяная материя, шелковое полотно и шелк (фанза). Полученные результаты в среднем следующие:

Материал фильтра.	Сопротивление фильтра (в мм. H_2O).	Проскок в %.	Увеличение сопротивления от засорения (в мм. H_2O).
Вата	6	5—10	6
Губка	4	5	4—6
Шерсть кавказск. из 2 слоев	4	12	16
Шелковое полотно	6	20	132
Шелк фанза	4	15	288

Последние данные о шелковом полотно и шелке не совсем точны, меньше действительных, так как большое сопротивление значительно меняло скорость просасывания воздуха и трудно было удерживать постоянное количество просасываемого воздуха—14 литров в минуту.

Из этих сравнительных данных можно сделать следующие выводы: шерсть, полотно и шелк, как несомненно и другие материи, не годятся для фильтров потому, что вследствие наступающей очень скоро закупорки пор пылью происходит резкое увеличение сопротивления фильтра. При опытах с полотняными и шелковыми фильтрами последние сделались почти непроницаемыми для воздуха.

Интересно отметить, что обычно при оценке фильтров учитывалась только степень их проницаемости для пыли и совсем не принималось в расчет влияние загрязнения фильтра пылью на сопротивление. Так, *Шабловский*, на которого ссылается *Lehmann*, говоря о качествах фильтров, ставит рядом вату и полотно, и можно было бы думать, что разница между этими фильтрами определяется только процентом проскока. Точно также и в самой последней немецкой литературе *Dr. Engelhard*¹⁾ указывает на возможность применения матерчатых фильтров для пылевых респираторов, между тем как по указанным мотивам такие фильтры для респираторов пригодными признать нельзя.

Что касается ваты и губки, то преимущество их в том, что они не так скоро засоряются и, следовательно, не так быстро вызывают затруднение дыхания. Последнее, однако, все же наступает, и единственным в данном случае выходом является замена старого, засоренного пылью фильтрующего материала — новым.

По сравнению с ватой губка имеет то преимущество, что она определенной формы и, следовательно, легко установить не только оптимальный вес фильтра, но и его объем. Кроме того, бывшую в употреблении губку можно вымыть и пустить опять в ход. Это нами было испытано и оказалось, что губка от мытья своих фильтрующих свойств не теряет. Последним качеством губчатого фильтра покрывается его более высокая, по сравнению с ватой, стоимость.

Из анализа существующих респираторов, преимущественно фильтрующих материалов, вытекает ряд мер для рационализации респираторов; для этого мы считаем необходимым:

- а) обязательное устройство выдыхательных клапанов,
- б) легкую смену или чистку фильтра,
- в) стандартизацию фильтрующей среды,
- г) изготовление респираторов из легкого и гибкого вещества.

Учтя все эти пожелания, мы сконструировали пылевой респиратор; в нем два выдыхательных клапана; фильтрующий материал (вата или губка) помещается как бы в коробку, передняя решетчатая крышка легко снимается и таким образом можно переменить фильтр, даже не снимая его с лица.

Если фильтром служит гигроскопическая вата, то ее следует брать не более 0,7—1,0 грамма и равномерно распределить по фильтрующей части респиратора. Толщина слоя губки должна быть около 0,5 см. Фильтрующая поверхность респиратора, по нашему мнению, может и должна быть увеличена до 50 мм. в диаметре; в большинстве респираторов этот диаметр равен 40 мм.

Каркас респиратора мы считали целесообразным сделать из тонкого гибкого алюминия; однако, ввиду отсутствия такого алюминия, мы остановились на коже; причем в наружный край респиратора, прилегающий к лицу, мы протянули проволоку. Изгибая проволоку соответственно очертаниям лица, мы тем самым получаем плотное прилегание краев респиратора к лицу, т.-е. то же, что при алюминиевом респираторе.

¹⁾ Zentralbl. f. Gewerbehygiene und Unfallverhütung. September 1925.

II.

В вышеприведенных данных мы как бы разложили существующие респираторы на отдельные части, проанализировали отдельные составляющие их элементы, отбросили отрицательные стороны и на основании полученных нами данных вкратце подошли к рациональной реконструкции респиратора.

Описанный выше тип респиратора, на котором мы остановились, по существу является улучшенным и рационализированным старым, наиболее распространенным респиратором.

Не остановившись на этом, мы в нашей работе пошли дальше по пути изыскания таких типов респираторов, в которых были бы исключены или, по крайней мере, в значительной степени ослаблены те отрицательные моменты, которые остались в описанном нами респираторе.

Наиболее слабым местом в ватном или губчатом респираторе являются недостатки фильтрующего материала, выражающиеся, главным образом, в увеличении сопротивления и, следовательно, в затруднении дыхания при засорении пылью; так как последнее, конечно, неминуемо, то мы предложили при появлении затрудненности дыхания менять фильтры. Это та необходимая и основная поправка, без которой применение ватных и губчатых фильтров очень скоро становится невозможным. (Надо сказать, что до сих пор это нигде, как правило, не применяется.) Признавая, что наше предложение, хотя и совершенно правильное и целесообразное, все же является далеко неполным разрешением вопроса о фильтрах для пылевых респираторов, мы поставили себе задачей найти другие фильтрующие материалы.

Прежде всего мы остановились на так наз. *металлическом фильтре*.

В техническом мире уже давно пользуются методом очистки воздуха, состоящим в том, что последний просасывается через несколько плоскостей, расположенных параллельно, на некотором расстоянии одна от другой; отверстия, через которые проходит ток воздуха, находятся не по прямой линии; таким образом, ток воздуха, встречая препятствие, изгибается в сторону и описывает на своем пути извилистую линию. Пыль же, будучи тяжелее воздуха, встречая препятствие в противоположной стенке, не в состоянии подняться вместе с током воздуха, а фиксируется на этой стенке прямо против того отверстия, через которое запыленный воздух прошел. С начала войны этот принцип широко стал применяться в Германии для устройства промышленных металлических фильтров. В настоящее время эти фильтры имеют много вариантов и применяются с большим успехом¹⁾.

Этим принципом очистки воздуха мы и воспользовались для респираторов. На пути выполнения этой задачи мы встретились с очень большими затруднениями. Стремясь получить от фильтра минимальный проскок пыли и минимальное сопротивление, мы столкнулись с необходимостью согласования ряда моментов для получения оптимальных условий. Эти моменты следующие:

- 1) количество пластинок, их форма и величина,
- 2) расстояние между ними,
- 3) величина, форма, количество и расположение отверстий для воздуха.

В результате многочисленных опытов и сопоставлений разных условий, на которых останавливаться не буду, нам удалось сконструировать такой металлический фильтр, который в большой мере отвечает поставленным выше целям.

¹⁾ Инж. Давыдов Н. А. Известия Теплотехнич. Института № 2, 1924 г.; «Gesundheits-Ingenieur». № 32, 1925.

Этот фильтр состоит из 4 тонких алюминиевых пластинок, расположенных на расстоянии 6 мм друг от друга. В каждой пластинке имеется по двенадцать отверстий в два ряда. Расстояние между обоими рядами отверстий 3 мм, расстояние между двумя рядом расположенными отверстиями 2—3 мм, диаметр каждого отверстия 2,5 мм. Пластинки устанавливаются таким образом, что, если на одной из них отверстия находятся внизу, то на следующей за ней пластинке отверстия расположены наверху. Ток воздуха, как это видно из схематического рисунка, при засасывании через слой, состоящий из 4 пластинок, приобретает извилистый ход; пыль застревает на глухих частях пластинок в местах, находящихся против отверстий в соседней пластинке (рис. № 2).

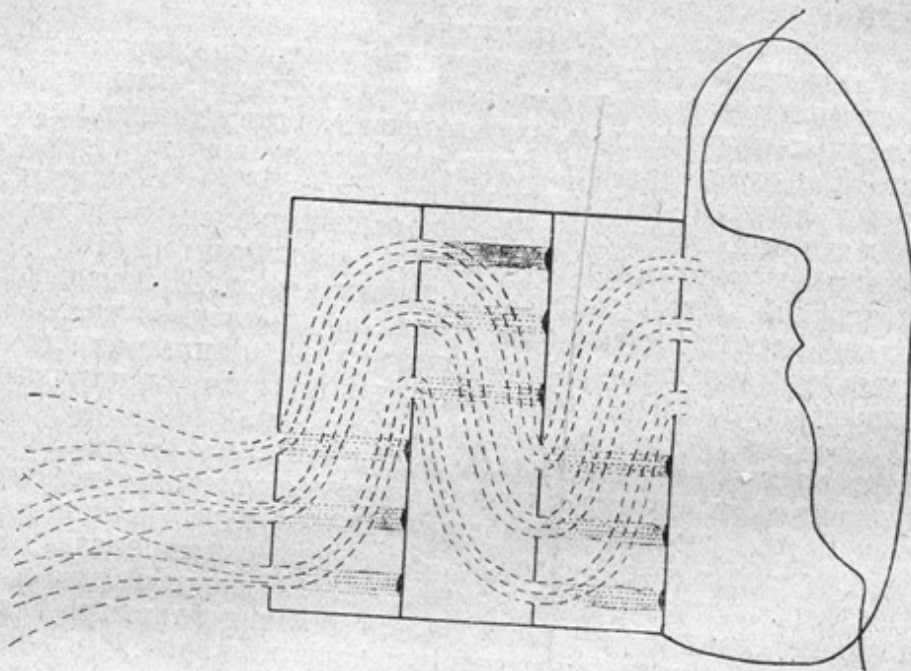


Рис. 2.

Сопротивление такого фильтра, состоящего из 4 пластинок, равно 8 мм водяного столба. Это сопротивление находится на границе допустимой с нашей точки зрения величины, но большое преимущество этого фильтра в том, что после 5—10-минутного просасывания запыленного воздуха, иначе говоря, после задержки 0,01—0,2—0,3 г пыли сопротивление респиратора не меняется (в противоположность тому, что мы имеем при фильтре из ваты или из губки). Проскок этого фильтра равен 8—15%. Весь фильтр имеет в длину 22—25 мм; это не вызывает неудобства при ношении его, равно и незначительный вес пластинок мало влияет на общий вес респиратора. Прочищать фильтр можно продуванием через особое, открываемое по желанию, сквозное отверстие или путем очистки от пыли каждой пластинки в отдельности; последнее не представляет затруднения, так как пластинки фильтра легко вынимаются из своих гнезд.

Сопоставляя принцип задерживания пыли, лежащий в основе металлических фильтров, с тем, что мы имеем в вате и губке, можно прийти к заключению, что пыль либо застревает и забивает тончайшие воздушные каналы, либо, вследствие извилистости тока воздуха, оседает на встречающихся на поворотах препятствиях. Мы, однако, не можем согласиться с упомянутым доктором Engelhard'ом, который полагает, что в ватном фильтре имеет место только закупорка пор; не отрицая наличия этого момента,

несомненно увеличивающего сопротивление, надо полагать, что и процесс задержки, вследствие извилистого воздушного пути в вате и губке, также имеет место.

Второй процесс задержки пыли для наших целей следует считать значительно более ценным, в виду возможности большой адсорбции пыли без изменения общего сопротивления.

Желая найти хорошие фильтрующие материалы, мы, исходя из второго принципа задержки пыли, теоретически сначала пришли к выводу, что хорошей фильтрующей средой должен служить материал зернистого характера, дающий большую пористость и извилистость ходов для протекающего воздуха. Исходя из этого, мы стали думать о возможности применения в качестве фильтрующего материала естественных зерен и начали производить опыты с овсом. В самом деле, слой овса в разрезе представляет собою поверхность, испещренную многочисленными щелями. Если же мы представим сечение овсяного слоя, отстоящего на $\frac{1}{2}$ —1 мм от взятой поверхности разреза, то мы опять увидим массу отверстий и щелей, но иных по форме и расположению. Иными словами, если мы станем через слой овса просасывать воздух, то, вступая в овес, воздух разобьется на множество мельчайших струй, которые будут проходить сквозь овес по чрезвычайно извилистому пути, и если просасываемый воздух запылен, то пыль должна на пути на изгибах застревать на стенках зерен.

Это априорное предположение полностью подтвердилось на практике. Не упоминая опять-таки о наших предварительных испытаниях, укажу на ту установку, которую мы в настоящее время считаем оптимальной. Мы остановились на фильтре из слоя овса диаметром в 4 см и длиной в 3 см. Овес набивается туго. Такой толстослойный фильтр имеет сопротивление не более 3—4 мм водяного столба.

Проверяя такой фильтр на проскок, так же как и прежние фильтры, мы получали задержку фильтром от 90 до 95% (проскок 5—10%); кроме того, при адсорбции пыли от 0,01 до 0,1 г, сопротивление фильтра не увеличилось и только при задержке 0,3 г сопротивление увеличилось на 4 мм; в последнем случае общее сопротивление респиратора достигло 8 мм.

Если рассматривать зерна овса после просасывания через них запыленного воздуха, то ясно видно, что поверхность каждого зерна со стороны поступления воздуха покрыта многочисленными темными точками — скоплениями пыли, как мы заранее и предполагали.

Устройство зернового фильтра (каркас респиратора применяется тот же) весьма просто. Оно представляет из себя цилиндрическую трубку длиной в 3 см с диаметром основания в 4 см, оба конца этой трубки сетчатые. Передняя сетка снимается в виде крышки и туда насыпаются зерна.

Серьезным показался нам следующий вопрос: не будет ли через некоторое время вместе с током воздуха просасываться через фильтр та пыль, которая осела на металлических пластинках или на зернах овса.

Это было проверено в лаборатории следующим образом. Мы просасывали в течение 5 минут через металлический и овсяный фильтры сильно запыленный воздух. После этого, сменив воду в контрольных склянках Дрекслея, просасывали через тот же фильтр чистый воздух, при чем для большего приближения к условиям, когда респиратор находится на лице рабочего, мы в течение опыта все время двигали респиратор в разные стороны.

Оказалось, что при этом просасывании через металлический фильтр вода в первой контрольной склянке получила бледно-голубой оттенок, т. е. прошло ничтожное количество пыли, а при просасывании чистого воздуха через запыленный овсяный фильтр вода в контрольных склянках совершенно не изменилась.

В металлическом фильтре было 0,1 г, в овсяном — 3 г пыли.

Таким образом, мы в настоящее время остановились на трех типах пылевых респираторов.

- 1) Рационализированный респиратор с ватным или губчатым фильтром.
- 2) Респиратор с металлическим фильтром.
- 3) Зерновой респиратор.

Дальнейшую проверку и уточнение наших работ мы произведем не только в лаборатории, но и на производстве, с заготовленными по нашим образцам респираторами. Продолав эту вторую стадию работы, мы подойдем к окончательной конструкции респираторов, которые отвечали бы как научным, так и практическим требованиям¹⁾.

Dr. M. Marschak
(Moskau).

Atemschützer.

(Laboratorium f. Gewerbehygiene am Staatlichen Wissenschaftlichen Institut für Arbeitsschutz. Direktor W. A. Lewitzky.)

(Vorläufige Mitteilung.)

Im Laboratorium für Gewerbehygiene des Instituts für Arbeitsschutz wurden die meistens angewendeten Atemschützer einer Untersuchung unterzogen, wobei das Filter als Hauptbestandteil des Atemschützers ganz besonders berücksichtigt wurde.

Bei der Prüfung der Atemschützer wurde als Staub feinzermalenes lösliches Berlinerblau verwendet, welches in einer kleinen Versuchskammer zerstäubt wurde. Die Menge des im Filter zurückgebliebenen und durch dasselbe hindurchgegangenen Staubes wurde auf kolorimetrischem Wege bestimmt.

Die Untersuchungen ergaben, dass wenn ein Atemschützer mit einem Filter aus Verbandwatte oder aus Schwamm rationell sein soll, so muss er so konstruiert sein, dass man die mit Staub verunreinigte Watte oder den Schwamm leicht und rasch durch reine Stücke ersetzen kann; ausserdem muss sowohl die Watte als auch der Schwamm für die Filter in streng bestimmten Mengen benutzt werden, wobei man von dem erforderlichen Nutzeffekt des Filters ausgehen muss: maximale Zurückhaltung des Staubes bei minimaler Erhöhung des Widerstandes. Der dem Gesicht anliegende Teil des Respirators muss so hergestellt sein, dass die Ränder des Respirators sich den individuellen Gesichtszügen leicht anpassen können. Das Vorhandensein von Ausatemungsventilen ist unbedingt notwendig.

Abgesehen von Filtern aus Watte und Schwamm wurden für die Respiratoren auch sogenannte Metallfilter benutzt; diese bestehen aus einzelnen Plättchen, die in einer gewisser Entfernung voneinander parallel aufgestellt sind, wobei die Oeffnungen in den einzelnen Metallplättchen sich nicht einander gegenüber befinden (Fig. 2). Auf diese Weise hat die angesogene Luft im Filter einen gewundenen Weg zurückzulegen, und der Staub setzt sich bei der Richtungsänderung dieses Weges auf die Wände der Plättchen nieder. Bei den Laboratoriumsversuchen liess das Metallfilter 18—15% des Staubes durch bei einem Widerstand von 68 mm Wassersäule. Nachdem 0,01—0,3 g Staub zurückgehalten waren, änderte sich der Widerstand des Metallfilters im Gegensatz zu dem Watte- und Schwammfilter nicht.

Als Filter wurde für Atemschützer im Laboratorium mit Erfolg auch Hafer verwandt in einer Schicht von 3 cm Länge und 4 cm Durchmesser. Der Widerstand eines derartigen Filters betrug 3—4 mm Wassersäule; infolge der kolossalen Adsorptionsfläche wurde der Staub in sehr bedeutenden Mengen zurückgehalten, und zwar mindestens 90% allen Staubes. Aus diesem Grunde beeinflusste die Verunreinigung des Filters durch Staub, sogar in grossen Mengen, nur sehr wenig die Widerstandserhöhung des Filters.

Unter Zugrundelegung der Ergebnisse der ausgeführten Untersuchungen fertigte das Laboratorium eigene Muster von Atemschützer an und übertrug die weiteren Beobachtungen in die Betriebe zwecks Nachprüfung, Präzisierung und Anpassung der Ergebnisse an die Betriebspraxis.

¹⁾ Испытания с респираторами, произведенные в последнее время на московском элеваторе при погружке овса, подтвердили вполне удовлетворительные качества металлического и зернового фильтров.