

ОБОСНОВАНИЕ ФИЛЬТРАЦИОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ОБЕСПЫЛИВАНИЯ ВОЗДУХА МЕТРОПОЛИТЕНОВ

Тимофей Сергеевич Ощепков

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт горного дела им. Н. А. Чинакала Сибирского отделения Российской академии наук (ИГД СО РАН), Россия, 630091, Новосибирск, Красный проспект 54, инженер лаборатории рудничной аэродинамики, аспирант, тел. (952)921-27-78, e-mail: timofeyoshchepkov@gmail.com

Лаврентий Александрович Кияница

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт горного дела им. Н. А. Чинакала Сибирского отделения Российской академии наук (ИГД СО РАН), Россия, 630091, Новосибирск, Красный проспект, 54, кандидат технических наук, младший научный сотрудник лаборатории рудничной аэродинамики, тел. (903)049-31-85, e-mail: Lavrentij.Kijanitz@yandex.ru

Иван Владимирович Лугин

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт горного дела им. Н. А. Чинакала Сибирского отделения Российской академии наук (ИГД СО РАН), Россия, 630091, Новосибирск, Красный проспект 54, кандидат технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории рудничной аэродинамики, тел. (383)205-30-30 (доб. 179), e-mail: ivlugin@misd.ru

К метрополитену, как к месту с массовым пребыванием людей, предъявляются высокие требования по поддержанию нормативных параметров микроклимата и качеству воздуха, а именно содержанию взвешенной пыли в нем. Для поддержания концентрации пыли в нормативных пределах, предлагается использовать воздушные фильтры, установленные в пристанционных вентиляционных сбояках в потоке воздуха от поршневого эффекта движущихся поездов. В результате ранее проведенных численных экспериментов были определены параметры нестационарного воздухораспределения от поршневого эффекта поездов и структура воздушного потока в пристанционных вентиляционных сбояках в двумерной постановке, позволяющие определить тип фильтрационного оборудования для очистки воздуха метрополитена от пыли и место его установки в вентиляционной сбояке. Для обоснования выбора типа фильтрационного оборудования проведен обзор и анализ геометрических, конструктивных и эксплуатационных параметров существующего оборудования. Предложен наиболее подходящий тип фильтрационного оборудования для очистки воздуха от пыли.

Ключевые слова: метрополитен, поршневой эффект, воздухораспределение, фильтрационное оборудование, пыль

VALIDATION OF FILTRATION EQUIPMENT FOR AIR DEDUSTING IN SUBWAYS

Timofey S. Oshchepkov

Chinakal Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, 54 Krasny prospect, Novosibirsk 630091, Russia, Engineer at the Mine Aerodynamics Laboratory, Post-Graduate Student, +7 952 921 2778, e-mail: timofeyoshchepkov@gmail.com

Lavrenty A. Kiyanitsa

Chinakal Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, 54, Krasny prospect, Novosibirsk 630091, Russia, Cand. Sci. (Eng.), Junior Researcher at the Mine Aerodynamics Laboratory, +7 903 049 3185, e-mail: Lavrentij.Kijanitz@yandex.ru

Ivan V. Lugin

Chinakal Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, 54, Krasny prospect, Novosibirsk 630091, Russia, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Leading Researcher at the Mine Aerodynamics Laboratory, office: +7 383 205 3030 ext. 179, e-mail: ivlugin@misd.ru

Subways, as the places where a large number of people are present, are put under stringent standards of high microclimate and air quality, namely, the content of air-borne dust. In order to maintain dust concentration within the permissible limits, it is suggested to install air filters at ventilation connections at subway stations, which are affected by the piston effect. Using the earlier experimental results, the nonstationary air flow parameters under the piston effect and the structure of air flow at the ventilation connections at subway stations are determined in two-dimensional layout, which allows selection of filtration equipment for removal of dust from subway air, and enables determination of the equipment location at ventilation connections. In order to validate the filtration equipment selection, the review and analysis of the geometry, design and performance of the available facilities are carried out. The most suitable filtration equipment for air dedusting is suggested.

Keywords: subway, piston effect, air distribution, filtration equipment, dust

Введение

Процесс эксплуатации метрополитена сопровождается постоянным выделением различных вредностей. В данной статье рассматривается одна из основных вредностей – взвешенная пыль. На основании действующих санитарных и нормативных требований [1, 2], концентрацию взвешенной пыли в воздухе метрополитенов необходимо поддерживать не выше допустимых значений ПДК. Ряд проведенных исследований [3-6] указывает на то, что в воздухе присутствуют твердые частицы во взвешенном состоянии в концентрации, превышающей ПДК. К примеру, концентрация пыли на рабочих местах персонала метрополитена превышает норму в 1,3-3,4 раза [3]. Согласно исследованию [5] концентрация взвешенных частиц PM10 и PM2.5, то есть частиц размером 10 мкм и 2,5 мкм соответственно, в метрополитене в 1,9 и 1,8 раза выше, чем для наземного рельсового транспорта. Содержание в воздухе мелкодисперсной пыли в высокой концентрации приводит к возникновению болезней органов дыхания [7]. Кроме этого пыль, оседающая на внутренних поверхностях сооружений метрополитена и обделки тоннелей, является благоприятной средой для распространения патогенных бактерий [8]. На основании выше сказанного следует вывод о необходимости дополнительной фильтрации и обеспыливания воздуха в сооружениях метрополитенов.

Авторами настоящей статьи предлагается устанавливать устройства для очистки воздуха в пристанционных вентиляционных сбойках, так как значительная часть тоннельного воздуха проходит именно через вентсбойки [9-11], образуя циркуляционное кольцо, причем расход воздуха, вовлекаемый в циркуляцию,

увеличивается с повышением количества встреч поездов. Для определения геометрических, конструктивных и эксплуатационных параметров фильтрующих устройств проведен ряд численных экспериментов [11], в ходе которых определены закономерности изменения скорости тоннельного воздуха, инициируемого поршневым эффектом от движения поездов, через вентиляционные сбойки в зависимости от положения поездов в тоннеле и скорости их следования.

Целью данной работы является обоснование выбора наиболее подходящего типа фильтрационного оборудования для очистки воздуха от взвешенной пыли в подземных сооружениях метрополитенов.

Обоснование требований к рабочим параметрам оборудования

В настоящее время оборудование для очистки воздуха от пыли предусматривается только в системе местной вентиляции метрополитенов. Системы местной вентиляции предусматриваются для подземных и наземных производственных, бытовых и других помещений [1]. Причем, забор воздуха осуществляется со станции или из перегонных тоннелей. Выброс воздуха из обслуживаемых помещений осуществляется в перегонные тоннели за станцией по ходу движения поезда. В системах тоннельной вентиляции фильтрационное оборудование не предусматривается. Наружный городской воздух, забираемый, как правило, из зеленых массивов, парков и скверов, подается в тоннели без предварительной его очистки [12, 13]. Помимо взвешенной пыли, вносимой с приточным воздухом, в метрополитене имеются внутренние источники пылеобразования – это истирание тормозных колодок подвижного состава, выветривание полотна и отделки тоннелей, а также пыль и грязь, вносимая пассажирами. Таким образом, очистка воздуха от пыли производится только в системах местной вентиляции, что является недостаточным мероприятием. Воздух, поступающий и циркулирующий в тоннелях метрополитена, не подвергается очистке от взвешенных частиц пыли, которые, в свою очередь, могут оказывать негативное влияние на здоровье человека и имеют тенденцию к накоплению в тоннельном воздухе.

В исследованиях [14, 15] рассмотрен химический состав взвешенных частиц PM_{2.5}, находящихся в воздухе метрополитена города Барселона, Испания. Образцы частиц были собраны во время работы метрополитена и подвергнуты химическому анализу для определения основных показателей. Взвешенные частицы PM_{2.5} были в основном представлены Fe₂O₃ (30–66%) и углеродистыми веществами (18–37%).

В результате проведенного исследования [11] получены закономерности изменения скорости движения тоннельного воздуха и структура потока в пристанционной вентиляционной сбойке, позволяющие определить месторасположение фильтрующего оборудования и его тип. На основе этих данных фильтрационное оборудование следует размещать в зоне потока воздуха, с однонаправленными векторами скорости, для эффективного улавливания взвешенной пыли. Размер зоны приблизительно составляет 50% сечения вентиляционной сбойки, что видно на рис. 1а – 1г.

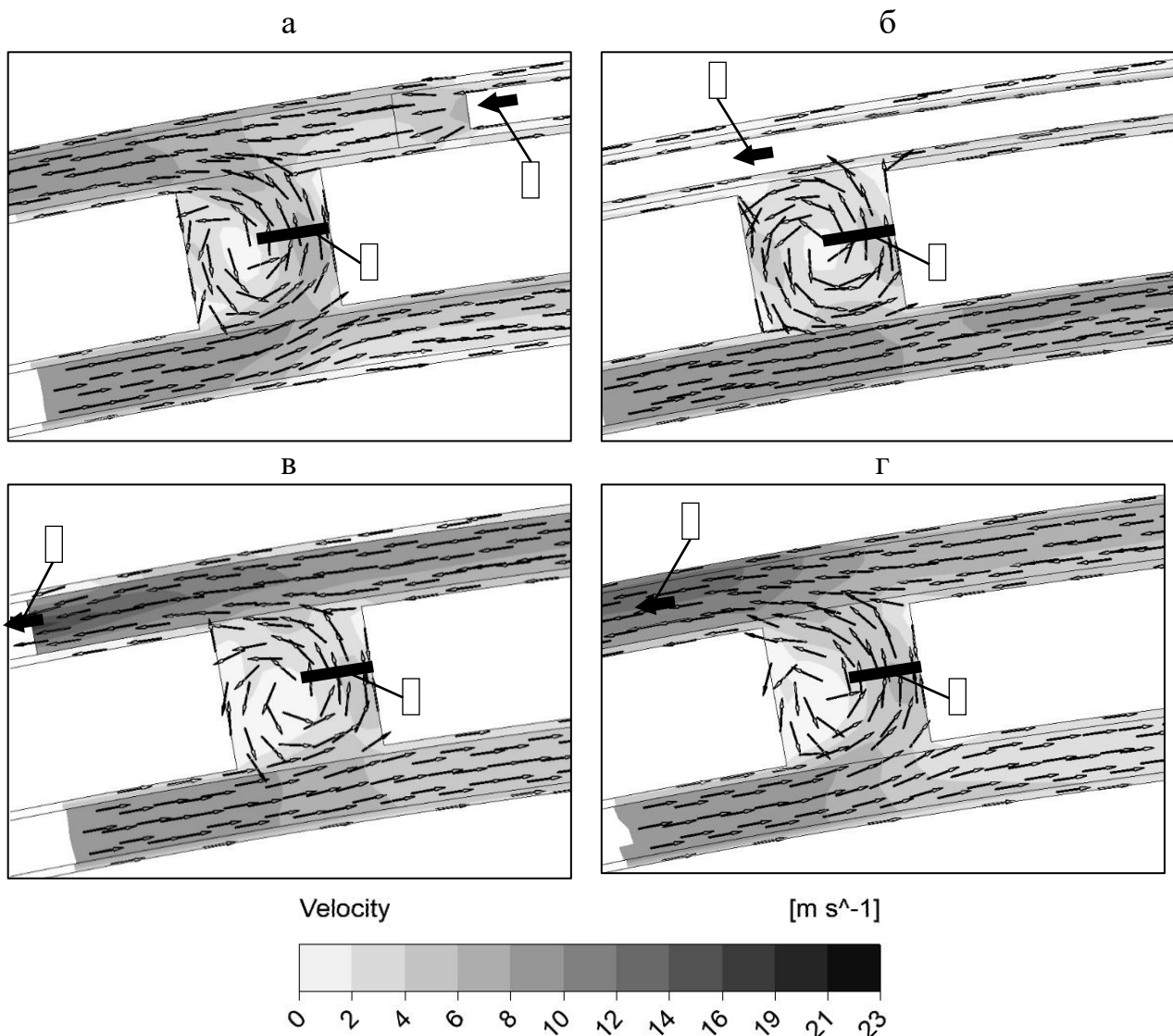


Рис. 1. Векторы и поле скоростей при прохождении поезда вентиляционной сбойки. Рисунок:

а – момент времени, когда поезд подходит к вентиляционной сбойке; б – момент времени, когда сечение вентиляционной сбойки перекрыто движущимся мимо поездом; в, г – момент времени, когда поезд преодолел вентиляционную сбойку. На рисунках стрелками указано направление движения потока воздуха; 1 – место размещения фильтрационного оборудования; 2 – направление движения поезда.

Ключевыми параметрами для подбора оборудования, предназначенного для очистки воздуха метрополитена от взвешенной пыли, является скорость движения воздуха в месте его установки, устойчивость к резкому непродолжительному изменению направления движения воздуха, происходящему в момент времени, когда отправляющийся со станции поезд приближается к вентиляционной сбойке [11], располагаемый перепад давления. Максимальная скорость воздуха в вентсбойке, направленная поперек зоны установки фильтрационного оборудования, составляет 3,1 м/с [11], располагаемый перепад давления в месте установки фильтрационного оборудования – 30 Па.

Из приведенных выше параметров запыленного потока в зоне установки фильтрационного оборудования можно обозначить основные требования к нему:

- размер улавливаемой фракции;
- скорость воздушного потока;
- аэродинамическое сопротивление установки (перепад давления).

Обзор фильтрационного оборудования

Проведем анализ возможности применения выпускаемого промышленностью фильтрационного оборудования, основанного на различных способах очистки воздушного потока, для пылеулавливания в пристанционных вентиляционных сбойках метрополитена. В ходе обзора справочной и нормативной литературы [16-20] составлена сравнительная характеристика пылеулавливающего оборудования, представленная в табл. 1.

Таблица 1

Сравнительные характеристики пылеулавливающего оборудования.

Способ очистки воздушного потока (газа)	Тип аппарата	Аэродинамическое сопротивление, Па	Размер улавливаемой фракции, мкм	Скорость воздушного потока, м/с	Способ регенерации (очистки)
Сухая механическая очистка	Инерционные и жалюзийные пылеуловители, центробежные пылеуловители (циклоны)	500-1500	10 и более	5 – 25	Очистка пылесборника
	Экранный инерционный пылеуловитель	25-100	10 и более	5 – 25	Очистка пылесборника
Фильтрование	Рукавные тканевые фильтры	700-1000	1 и более	0,03	Очистка сжатым воздухом или вибровстряхиванием, при снижении эффективности после регенерации замена фильтра
	Фильтры из пористой керамики, металлокерамики, пластмассы, касетные, картриджные	1000-3000	0,3 и более	3	Очистка фильтрующего материала промывкой в воде или пневматически
Фильтрование	Плоские ячейковые фильтры, панельные фильтры	17-250	10 и более	3	Очистка фильтрующего материала промывкой в воде
Фильтрование	Ячейковые и другие фильтры с тканевыми и неткаными фильтрующими материалами	40-250	0,1 и более	2 – 3	Замена фильтра

Способ очистки воздушного потока (газа)	Тип аппарата	Аэродинамическое сопротивление, Па	Размер улавливаемой фракции, мкм	Скорость воздушного потока, м/с	Способ регенерации (очистки)
Мокрая очистка	Скрубберы, пенные пылеуловители	40-500	5 и более	0,8 – 4	Не требуется
Электрическая очистка	Электрофильтры (сухие и мокрые)	10-250	0,1 и более	0,8 – 3	Чистка (промывка) осадительной камеры, замена угольных катализаторов

Обсуждение

На сегодняшний день промышленностью выпускается широкий спектр фильтрационного оборудования для очистки воздушного потока от взвешенной пыли. Рабочие характеристики данного оборудования, а именно: скорость воздушного потока, размер улавливаемой фракции, аэродинамическое сопротивление и способ регенерации – значительно отличаются в зависимости от конструкции аппарата и способа очистки воздушного потока, что видно из таблицы 1. Помимо основных требований для подбора фильтрационного оборудования, обозначенных ранее, следует принимать во внимание его габариты, необходимость подключения аппарата к системе водоснабжения и водоотведения, к электрической сети. Дополнительно следует уделять внимание автономности фильтрационного оборудования, то есть очистка от осевшей пыли на поверхности конструкции или в специальном бункере должна производиться в автоматическом режиме, при минимальном участии человека в этом процессе, поскольку предлагаемое место установки – пристанционная вентиляционная сбойка, доступ к которой крайне ограничен. Путем сопоставления требований к условиям работы фильтров, при которых будет достигаться наибольшая эффективность фильтрации, и фактических условий работы в подземных сооружениях метрополитенов, выявлено, что наиболее подходящими являются: 1) экранные инерционные пылеуловители; 2) плоские ячейковые и панельные фильтры; 3) электрофильтры. Выбор данных фильтрующих аппаратов обусловлен их: 1) низким начальным аэродинамическим сопротивлением; 2) допустимой скоростью воздушного потока; 3) способом регенерации и возможностью автоматизации этого процесса; 4) размером улавливаемой фракции.

Заключение

Проведен анализ возможности применения выпускаемого промышленностью фильтрационного оборудования, основанного на различных способах очистки воздушного потока, для пылеулавливания в пристанционных

вентиляционных сбоях метрополитена. Определены наиболее подходящие конструкции фильтрационного оборудования.

Благодарности

Работа выполнена в рамках научной темы FWNZ-2021-0004.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Свод правил 120.13330.2012. Метрополитены. Актуализированная редакция СНиП 32-02-2003 [Текст] : утв. Приказом Минрегион РФ 30.06.2012 : дата введ. 01.01.2013. — М.: [б.и.], 2013. — 260 с.

2. СП 2.5.2623-10 Санитарные правила эксплуатации метрополитенов. Изменения и дополнения N 1 к СП 2.5.1337-03 [Текст] : утв. Пост. Главного государственного санитарного врача РФ от 30.04.2010 : дата введ. 08.06.2010. — М.: [б.и.], 2010. — 15 с.

3. Хунашвили Н.Г. [и др.] Клинико-гигиенические параллели при исследовании условий труда и состояния здоровья работников тбилисского метрополитена / Н.Г. Хунашвили, Р.Г. Кверенчиладзе, М.П. Цимакуридзе, Л.Ш. Бакрадзе, Майя П. Цимакуридзе // Аллергология и иммунология. — 2010. — том 11. — № 2. — с. 135-136

4. Сазонова А. М. Исследование пылевого фактора производственной среды метрополитена / А.М. Сазонова // Гигиена и охрана труда транспортной отрасли. — 2016. — с. 79-85

5. Winnie Kam, Kalam Cheung, Nancy Daher, Constantinos Sioutas. Particulate matter (PM) concentrations in underground and ground-level rail systems of the Los Angeles Metro // Atmospheric Environment. Volume 45, 2011, Pages 1506-1516.

6. Senlin Lu, Dingyu Liu, Wenchao Zhang, Pinwei Liu, Yi Fei, Yan Gu, Minghong Wu, Shang Yu, Shinich Yonemochi, Xiaoju Wang, Qingyue Wang. Physicochemical characterization of PM_{2.5} in the microenvironment of Shanghai subway // Atmospheric Research. Volume 153, 2015, Pages 543-552.

7. Сачкова О.С. [и др.] Разработка мероприятий по оздоровлению условий труда тоннельных рабочих / О.С. Сачкова, Т.В. Матвеева, Н.И. Зубрев, М.В. Устинова, В.Л. Кашинцева // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего. — 2018. — Т. 7. — №3 (43). — с. 145-149

8. Копытенкова О.И., Шилова Е. А., Сазонова А.М. Комплексный подход к оценке биодеструктивных факторов при освоении подземного пространства / О. И. Копытенкова, Е. А. Шилова, А. М. Сазонова // Интернет-журнал «Науковедение». — Том 7. — №1 (январь - февраль 2015). — с. 1-16

9. A. M. Krasnyuk. CIRCULATORY AIR RINGS AND THEIR INFLUENCE ON AIR DISTRIBUTION IN SHALLOW SUBWAYS // Krasnyuk A.M., Lugin I.V., Pavlov S.A. // Journal of Mining Science, 2010. Т. 46. № 4. С. 431-437.

10. Krasnyuk A.M., Lugin I.V., Pavlov S.A. Experimental research into air distribution in a terminal subway station// Tunnelling and Underground Space Technology. Volume 85, March 2019, Pages 21-28.

11. Ощепков Т.С., Кияница Л.А., Лугин И.В. К вопросу определения поля скоростей воздуха в тоннельных сооружениях линий метрополитена с использованием кольцевых моделей как способа топологической декомпозиции // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XVI Междунар. науч. конгр., 18 июня – 8 июля 2020 г., Новосибирск [Текст] : сб. материалов в 8 т. Т. 2 : Национальная науч. конф. «Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Экономика. Геоэкология». – Новосибирск : СГУГиТ, 2020. – С. 129 – 137.
12. В.Г. Храпов. Тоннели и метрополитены: Учебник для вузов / В.Г. Храпов, Е.А. Демешко, С.Н. Наумов и др. – М.: Транспорт, 1989 – 383 с.
13. В.Я. Цодиков. Вентиляция и теплоснабжение метрополитенов / В.Я. Цодиков. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1975 – 568 с.
14. M.C. Minguillóna, C. Reche, V. Martinsa, F. Amato, E. de Miguel, M. Capdevila, S. Centelles, X. Querol, T. Moreno. Aerosol sources in subway environments // Environmental Research. Volume 167, 2018, Pages 314–328.
15. Vania Martins, Teresa Moreno, María Cruz Minguillon, Barend L. van Drooge, Cristina Reche, Fulvio Amato, Eladio de Miguel, Marta Capdevila, Sonia Centelles, Xavier Querol. Origin of inorganic and organic components of PM2.5 in subway stations of Barcelona, Spain // Environmental Pollution. Volume 208, 2016, Pages 125–136.
16. Чупалов В.С. Воздушные фильтры / В.С. Чупалов. – СПб : СПГУТД, 2005. – 167 с.
17. Алиев Г. М.-А. Техника пылеулавливания и очистки промышленных газов. Спр. изд. – М.: Металлургия, 1986. – 544 с.
18. Ветошкин А.Г. Процессы и аппараты пылеочистки. Учебное пособие. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2005. - с.: ил., библиогр.
19. Штокман Е.А. Очистка воздуха: Учеб. пособие. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2007. – 312 с.
20. ГОСТ Р ЕН 779-2014 Фильтры очистки воздуха общего назначения. Определение технических характеристик [Текст]: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 24 октября 2014 г. № 1419-ст: дата введ. 01.12.2015. – М.: Стандартинформ, 2014 – 68 с.

© Т. С. Ощепков, Л. А. Кияница, И. В. Лугин, 2021