

УДК 697.953

Ефимова Елена Ивановна

ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения»
Россия, Санкт-Петербург¹
Профессор кафедры «Техносферная и экологическая безопасность»
Доктор педагогических наук, кандидат технических наук, профессор
E-Mail: Eei0509@yandex.ru

Чухлей Валентина Дмитриевна

ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения»
Россия, Санкт-Петербург
Студент 4 курса
E-Mail: bphantom666@gmail.com

Нагабедян Виктория Сергеевна

ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения»
Россия, Санкт-Петербург
Студент 4 курса
E-Mail: vikosik-k@mail.ru

Моделирование воздушных потоков в помещениях метрополитена на платформе SolidWorks

Аннотация: Метрополитен является неотъемлемой частью инфраструктуры крупных городов. Однако в связи с увеличением потока пассажиров, современный метрополитен столкнулся с рядом проблем. К ним относятся, во-первых, организация воздухообменных процессов в технических и служебных помещениях, тоннелях метрополитена, на подземных станциях и переходах между станциями метрополитена, во-вторых, значительное потребление энергии тоннельной вентиляцией, которое может быть достигнуто путем создания системы воздухопроводов, позволяющей уменьшить потери в местных сопротивлениях и потери давления.

Для решения данных проблем были проанализированы основные принципы работы вентиляции метрополитена и выявлены пути достижения нормируемых параметров микроклимата, построена модель станции метрополитена посредством системы автоматизированного проектирования SolidWorks. Также был проведен анализ движения воздушных масс с помощью встроенного модуля Flow Simulation.

Исследование показало, что скорости движения воздуха, полученные в результате моделирования процесса движения воздушных масс, находятся в пределах допустимых значений, а неравномерность их распределения зависит от конструктивных особенностей станции.

В качестве перспективы дальнейшего исследования движения воздушных потоков на станциях метрополитена планируется учет поршневого действия поездов, а также использование 3D-принтеров для изготовления криволинейных участков воздухопроводов.

Ключевые слова: Вентиляция метрополитена; нормируемые параметры микроклимата; моделирование воздушных потоков; трехмерные траектории движения воздуха; SolidWorks; Flow Simulation; 3D-прототипирование.

Идентификационный номер статьи в журнале 24TVN114

¹ 190031 Санкт-Петербург, пр. Московский, д.9.

Elena Efimova

Petersburg State Transport University
Russia, Sankt-Petersburg
E-Mail: Eei0509@yandex.ru

Valentina Chukhley

Petersburg State Transport University
Russia, Sankt-Petersburg
E-Mail: 6phantom666@gmail.com

Viktoriya Nagabedian

Petersburg State Transport University
Russia, Sankt-Petersburg
E-Mail: vikosik-k@mail.ru

Modeling of air flow in the underground spaces based on the SolidWorks platform

Abstract: Underground railway is an integral part of urban infrastructure. However, due to the increase in number of passengers, modern subway has faced several problems. Some of them include: firstly, room air processes in technical and service spaces, subway tunnels, in underground stations and transitions between subway stations, and, secondly, significant power consumption of tunnel ventilation, which can be reached through the generation of airway system, allowing to reduce the losses in local resistance and pressure.

For providing solutions to the given problems basic principles of underground ventilation were analyzed, and as a result achieving standardized parameters of microclimate were detected and subway station model was built by means of computer-aided design of SolidWorks system. Moreover, an analysis of movement of air masses was conducted with the built-in module Flow Simulation.

As a research has shown, air velocities, achieved as a result of process modeling of air masses, are within the permissible range, and their uneven distribution depends on structural features of the station.

As the prospect for further research of air flow on subway stations, it is planned to take into account piston actions of trains, and the use of 3D-printers for manufacturing of curved duct sections.

Keywords: Underground ventilation; normalized parameters of the microclimate, air flows modeling; three-dimensional trajectories of air movement; SolidWorks; Flow Simulation; 3D-prototyping.

Identification number of article 24TVN114

Поток пассажиров Санкт-Петербургского метрополитена за последние десятилетия существенно увеличился, поэтому спроектированная более 50 лет назад тоннельная вентиляция, не справляется со своей основной функцией поддержания нормируемых параметров микроклимата. Следует отметить, что тоннельные вентиляторы потребляют значительное количество электроэнергии, но при этом эффективность их эксплуатации остается на крайне низком уровне.

На развитие вентиляционных систем в России и СНГ в значительной степени повлияли Г.А. Бабак, Н.Н. Петров, В.А. Руденко, Н.И. Загрельный, И.В. Клепаков, И.В. Брусиловский, В.И. Ковалевская, М. Левин, С.А. Тумаркин, К.А. Ушаков и др.

При системе вентиляции с естественным побуждением воздух в тоннель поступает вследствие поршневого действия проходящих по тоннелю поездов и под действием гравитационных сил (вследствие разницы удельных весов наружного и внутреннего тоннельного воздуха). Однако такая система уместна только в тоннелях мелкого заложения.

В тоннелях глубокого заложения используют вентиляцию с искусственным побуждением. При такой системе подачи воздуха, вентиляционные установки располагают по одной на каждой станции и на каждом перегоне, как правило, в его середине. Устройство системы вентиляции в тоннелях глубокого заложения представлено на рис. 1.

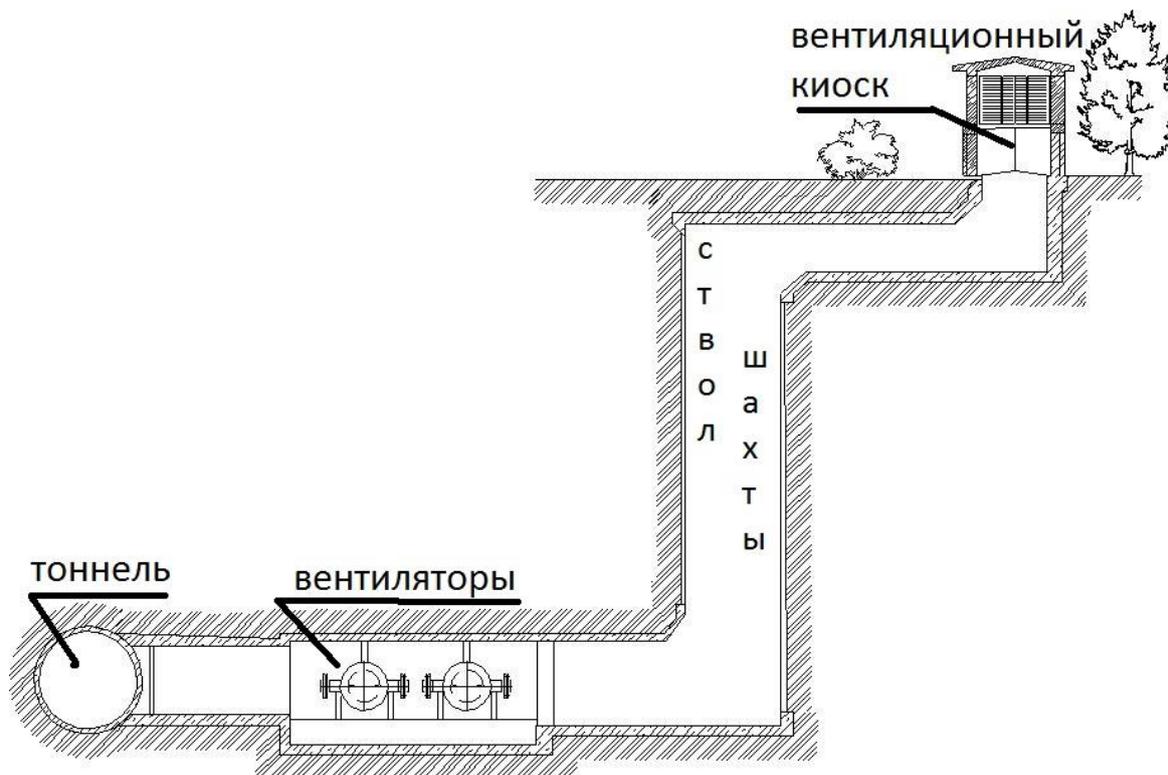


Рис. 1. Система вентиляции в тоннелях глубокого заложения

Для станций глубокого заложения возможны два конструктивных решения вентиляционных сооружений. Первое заключается в использовании для вентиляции ствола шахты. При помощи вентиляционного тоннеля ствол шахты соединяют сначала с вентиляционной камерой, а затем с подплатформенными каналами станции либо перегонным тоннелем. Второе решение предусматривает использование нижней части наклонного эскалаторного тоннеля в качестве вентиляционного канала. Забор воздуха при этом решении осуществляют через жалюзи окон в стенах наземного вестибюля. Необходимую площадь поперечного сечения канала получают за счет вертикальной вставки. Вентиляционную камеру

располагают под наклонным эскалаторным тоннелем на уровне подплатформенных каналов, которыми она соединяется.

Так как метрополитен располагается в разных городах, разных климатических зонах, то для холодных районов, где температура опускается ниже нуля, существует два режима вентиляции: летний и зимний. В летний период свежий воздух подаётся на станцию, а удаляется на перегонах. В зимний же наоборот: воздух подаётся на перегонах и пока достигает станции, нагревается до оптимальной температуры.

В метрополитене рассоложены не только платформы, но и производственные и служебные помещения. Для их вентиляции на станциях и перегонах служат местные вентиляционные системы, оборудованные вентиляторами, работающими на приток и вытяжку. Воздух для этой цели забирается со станции или из перегонных тоннелей и предварительно очищается в противопыльных фильтрах. Выбрасывается воздух в перегонные тоннели (за станцией) по ходу движения поездов. Воздух из аккумуляторных, душевых и санузлов удаляется на поверхность.

В результате выделений тепла от подвижного состава, пассажиров, перемещения воздуха в тоннелях от движения поездов и тоннельной вентиляции, за счёт теплообмена грунтов, окружающих тоннель, с воздухом вентиляционной струи, влагообмена и газообмена формируется микроклимат станций метрополитена глубокого заложения. Самочувствие пассажиров и обслуживающего персонала зависит от микроклимата станций и для обеспечения бесперебойной работы метрополитена он должен соответствовать гигиеническим требованиям в отношении температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха.

Согласно СНиП 32-02-2003 «Метрополитены» в пассажирских помещениях в тёплый период года температура воздуха должна находиться в пределах от 18°C до 28°C, а средняя скорость движения воздуха от 0,5 до 2,0 м/с. В холодный период года скорость движения воздуха такая же как и в тёплый от 0,5 до 2,0 м/с, а температура воздуха должна быть в пределах от 10°C до 16°C. Такие показатели микроклимата должны быть обеспечены во всех пассажирских помещениях метрополитена. Превышение средней скорости движения воздуха на платформах станций при подходе и отходе поездов допускается не более чем в два раза [1].

В производственных помещениях с постоянным пребыванием персонала и в помещениях здравоохранения должны быть обеспечены оптимальные условия микроклимата, в остальных бытовых и производственных помещениях с временным пребыванием персонала - не ниже допустимых уровней [2, 3].

В соответствии с п.5.17.4 СНиП 32-02-2003 «Метрополитены» содержание загрязняющих веществ в воздухе тоннелей и пассажирских помещений не должно превышать максимальных разовых предельно допустимых концентраций (ПДК) для атмосферного воздуха населенных мест, что соответствует требованиям, изложенным в ГН 2.1.6.1338-03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест» [4].

Для определения соответствия параметров микроклимата фактическим параметрам была создана модель движения воздушных потоков на станции «Политехническая» Санкт-Петербургского метрополитена.

Существуют различные методы моделирования процессов. Наиболее популярным является компьютерное моделирование с помощью систем автоматизированного проектирования. К таким системам относятся AutoCAD Autodesk, КОМПАС-3D АСКОН, SolidWorks и др.

Хасанов Э. Р. использует программный комплекс SolidWorks FlowVision для моделирования аэродинамического процесса в инкрустаторе семян [7].

Лякишев С.Л. и Блохина А.Н. используют SolidWorks - Flow Simulation для расчета течения воздуха в аэродинамической модели парогенератора [6]; Хоробрых М. А., Клементьева В. А. при помощи пакета Flow Simulation выполнили математическое моделирование потоков воздуха для изучения вихревого эффекта Ранка-Хилша [8]; Сазонов Ю. А., Муленко В. В., Балака А. Ю. исследовали движение гидравлических потоков в насосах и гидравлических двигателях объемно-динамического типа, используемых для нефтяной промышленности; Гончаров М., Дворников В. смоделировали тепловые режимы работы аппаратуры силовой электроники в среде SolidWorks Flow Simulation» [9,10].

Для создания модели движения воздуха в метрополитене была выбрана среда SolidWorks. Данный программный комплекс позволяет провести анализ широкого спектра параметров, таких как долговечность, статические и динамические реакции, теплообмен и др. Для анализа движения воздушных масс был использован дополнительный модуль инженерного анализа SolidWorks - Flow Simulation. Он позволяет моделировать течения газов, управлять расчётной сеткой, выполнять комплексный тепловой расчёт, а также расчёт вращающихся объектов, создавать газодинамические и тепловые модели технических устройств и др.

На рис. 2 представлена модель станции «Политехническая» Санкт-Петербургского метрополитена.



Рис. 2. Модель станции метрополитена «Политехническая» г. Санкт-Петербурга

Начальные условия - давление и температура равны, соответственно, 101325 Па и 293,2 К. Также задаются расходно-напорные характеристики виртуального вентилятора: его тип, объемный расход воздуха, скорость вращения, внутренний и внешний диаметр и его аэродинамические характеристики. Нами принят вентилятор со следующими параметрами:

- тип вентилятора – осевой;
- скорость вращения – 75,36 рад/с;
- внутренний диаметр -0,6 м;

внешний диаметр - 1,4 м.

Аэродинамические характеристики вентилятора представлены на рис. 3.

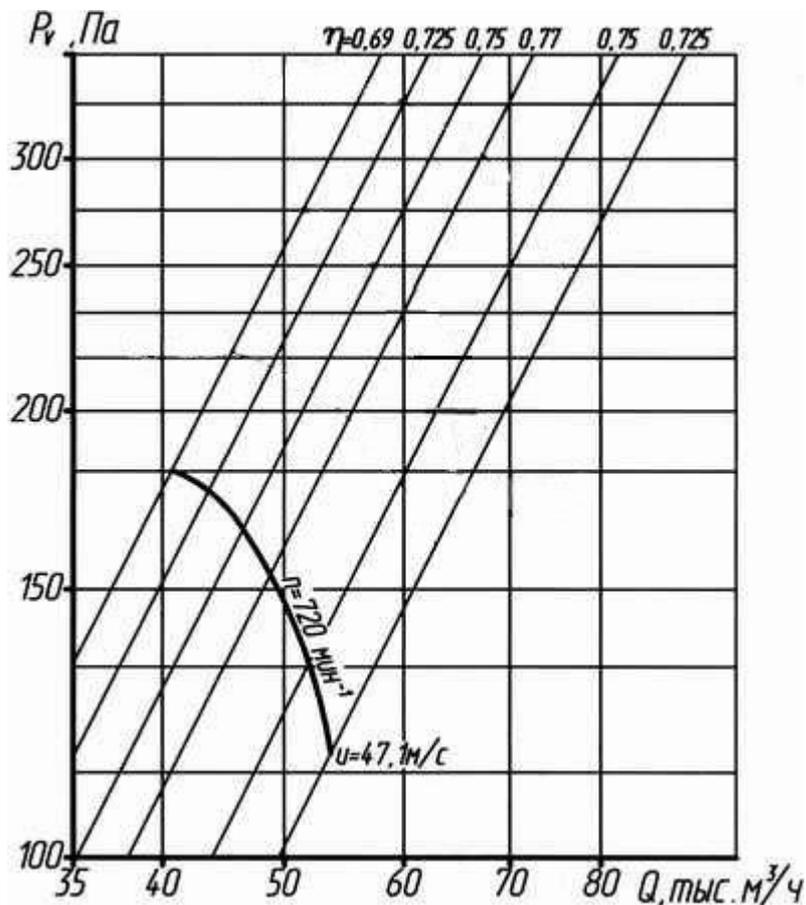


Рис. 3. Графические характеристики виртуального вентилятора

Трехмерные траектории движения воздуха в расчетной модели (линии тока и поле скоростей воздуха в вестибюле и части наклонного хода) представлены на рис. 4.

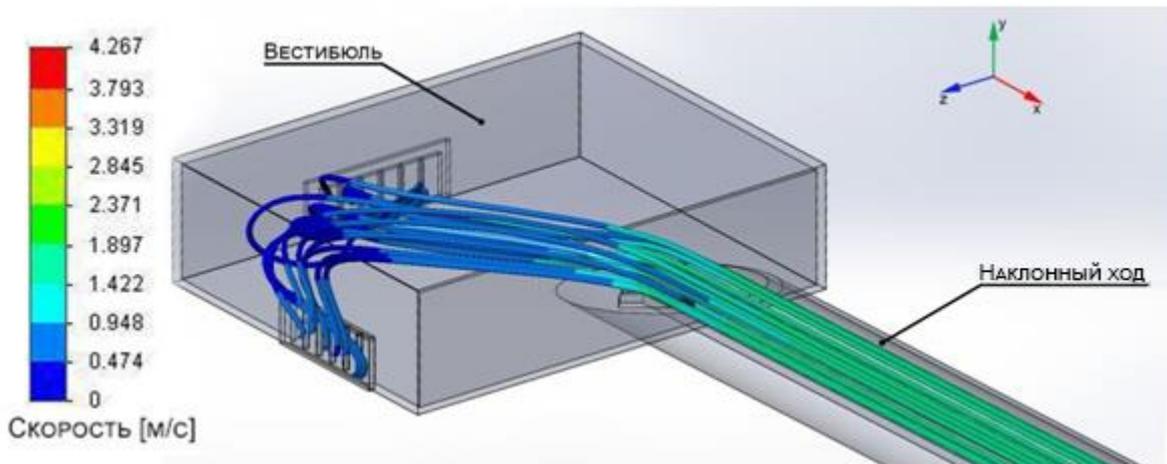


Рис. 4. Линии тока и поле скоростей воздуха в вестибюле и части наклонного хода

На рис. 5 представлено поле скоростей воздуха в аэродинамической модели в сечении YX.

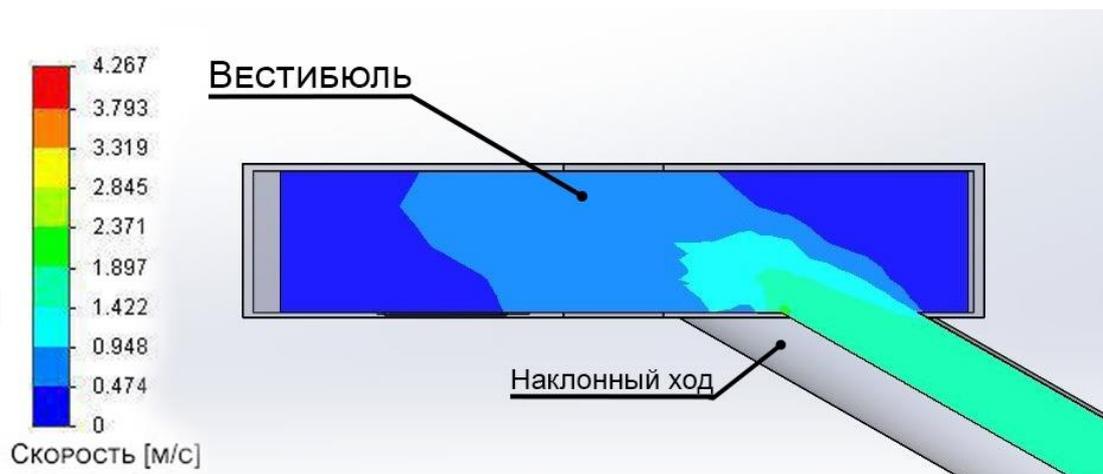


Рис. 5. Поле скоростей воздуха в сечении YX

В результате моделирования потока воздуха на станции метрополитена посредством Flow Simulation определено распределение потока воздуха в тоннелях, на платформе, наклонном ходе и вестибюле станции. Полученные скорости движения воздушного потока находятся в интервале допустимых значений. Выявлена неравномерность поля скоростей моделируемых воздушных потоков, обусловленная конструкционными особенностями станции.

В перспективе дальнейшего исследования моделирования воздушных потоков в метрополитене планируется учесть поршневой эффект движущихся поездов и рассмотреть вопрос уменьшения местных потерь давления на криволинейных участках воздухопроводов, путем оптимизации их геометрии. Последняя задача может решаться через изготовление этих участков воздухопроводов с использованием 3D прототипирования.

На сегодняшний день 3D-принтеры получили широкое распространение в различных областях: архитектуре, машиностроении, медицине, образовательной области, полиграфии и др. Это обусловлено рядом преимуществ данного способа создания моделей. 3D-принтеры позволяют быстро изготавливать прототипы для последующего исследования. Еще одним преимуществом является быстрое изготовление, которое позволяет значительно сократить время производства деталей.

Для печати трехмерных моделей используется формат файлов *.STL (stereolithography). Данный формат поддерживает большинство систем автоматизированного проектирования, в том числе и SolidWorks.

Материалы, применяемые в печати, имеют различные химические и физические свойства. Для решения поставленной задачи, согласно ППБ 147-87 «Правила пожарной безопасности на метрополитенах» [5], можно применять поликарбонат и металлический порошок. Существует две технологии печати, в которых возможно применение данных материалов:

1) Селективное лазерное спекание. На базовую поверхность распыляется равномерный слой исходного порошка, который спекаясь, превращается в твердый материал при помощи лазерного излучения. После чего базовая поверхность перемещается вниз на толщину одного слоя, и операция повторяется вновь – нанесение порошка, спекание, опускание основы.

2) Моделирование методом наплавления. Рабочий материал поступает в специальную экструзионную головку, в которой материал плавится и в виде тонкой проволоки выдавливается на холодную рабочую поверхность. Большая разница температур позволяет быстро застыть новому слою. После затвердевания первого слоя, головка приступает наносить следующий слой.

Для изготовления участков воздуховодов, применимы только принтеры производственного класса.

Работа выполнена при поддержке Петербургского государственного университета путей сообщения инициативных научных работ, выполняемых студенческими научными коллективами.

ЛИТЕРАТУРА

1. СНиП 32-02-2003. Метрополитены. М.: ООО «Техно-Сервис», 2002. - 24 с.
2. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. Введ. 89-01-01. - М.: Изд-во стандартов, 1988. - 5 с.
3. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений / Министерство здравоохранения РФ. М., 2002.- 22 с.
4. ГН 2.1.6.1338-03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест».
5. ППБ 147-87 «Правила пожарной безопасности на метрополитенах»
6. Лякишев С.Л., Блохина А.Н. Моделирование потока теплоносителя во входной камере парогенератора БН-1200 с помощью CFD кода// Материалы научно-технической конференции молодых специалистов ОКБ «ГИДРОПРЕСС», 20-21 марта 2013. [Электронный ресурс]. - М. 2013. – Режим доступа: <http://www.gidropress.podolsk.ru/files/proceedings/kms2013/documents/kms2013-009.pdf>, свободный – Загл. с экрана
7. Хасанов Э.Р. Моделирование аэродинамического процесса в инкрустаторе семян//Российский электронный научный журнал. 2013 №2. [Электронный ресурс]. - М. 2013. – Режим доступа: http://journal.bsau.ru/directions/05-00-00-technical-sciences/index.php?ELEMENT_ID=135, свободный – Загл. с экрана
8. Хоробрых М. А., Клементьев В. А. «Вихревой эффект Ранка-Хилша. Вихревая труба» // Молодой ученый. 2012. №6. С. 54-55
9. Сазонов Ю. А., Муленко В. В., Балака А. Ю. «Насосы и гидравлические двигатели объемно-динамического типа для нефтяной промышленности» // Территория нефтегаз. 2011. №12. С. 36-39
10. Гончаров М., Дворников В. «Моделирование тепловых режимов работы аппаратуры силовой электроники в среде SolidWorks Flow Simulation» // Силовая электроника. 2010. № 25. С. 98-100

Рецензент: Титова Тамила Семеновна, проректор по научной работе, доктор технических наук, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Петербургский государственный университет путей сообщения».

REFERENCES

1. SNiP 32-02-2003. Metropoliteny. M.: ООО «Tehno-Servis», 2002. - 24 s.
2. GOST 12.1.005-88 SSBT. Obshhie sanitarno-gigienicheskie trebovaniya k vozduhu rabochej zony. Vved. 89-01-01. - M.: Izd-vo standartov, 1988. - 5 s.
3. SanPiN 2.2.4.548-96. Gigienicheskie trebovaniya k mikroklimatu proizvodstvennyh pomeshhenij / Ministerstvo zdравоохранения RF. M., 2002.-22 s.
4. GN 2.1.6.1338-03 «Predel'no dopustimye koncentracii (PDK) zagryznejushhih veshhestv v atmosfernom vozduhe naselennyh mest».
5. PPB 147-87 «Pravila pozharnoj bezopasnosti na metropolitenah»
6. S.L. Ljakishev, A.N.Blohina. Modelirovanie potoka teplonositelja vo vhodnoj kamere parogeneratora BN-1200 s pomoshh'ju CFD koda// Materialy nauchno-tehnicheskoy konferencii molodyh specialistov OKB «GIDROPRESS», 20-21 marta 2013. [Elektronnyj resurs]. - M. 2013. – Rezhim dostupa: <http://www.gidropress.podolsk.ru/files/proceedings/kms2013/documents/kms2013-009.pdf>, svobodnyj – Zagl. s jekrana
7. Je.R. Hasanov. Modelirovanie ajerodinamicheskogo processa v inkrustatore semjan//Rossijskij jelektronnyj nauchnyj zhurnal. 2013 №2. [Elektronnyj resurs]. - M. 2013. – Rezhim dostupa: http://journal.bsau.ru/directions/05-00-00-technical-sciences/index.php?ELEMENT_ID=135, svobodnyj – Zagl. s jekrana
8. Horobryh M. A., Klement'ev V. A. «Vihrevoj jeffekt Ranka-Hilsha. Vihrevaja truba» // Molodoj uchenyj. 2012. №6. S. 54-55
9. Sazonov Ju. A., Mulenko V. V., Balaka A. Ju. «Nasosy i gidravlicheskie dvigateli ob'emno-dinamicheskogo tipa dlja neftjanoy promyshlennosti» // Territorija neftegaz. 2011. №12. S. 36-39
10. Goncharov M., Dvornikov V. «Modelirovanie teplovyh rezhimov raboty apparatury silovoj jelektroniki v srede SolidWorks Flow Simulation» // Silovaja jelektronika. 2010. № 25. S. 98-100