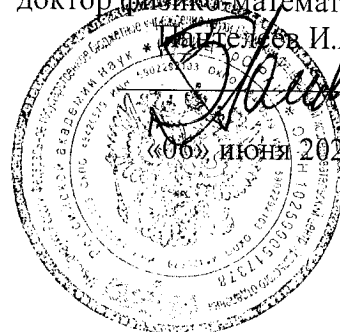


МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное
бюджетное учреждение науки
**Пермский федеральный
исследовательский центр
Уральского отделения
Российской академии наук
(ПФИЦ УрО РАН)**

ул. Ленина, д.13А, г. Пермь, 614000
тел. (342) 212-60-08, факс 212-50-90
E-mail: psc@permisc.ru, http://www.permisc.ru
ОКПО 48420579, ОГРН 1025900517378
ИНН 5902292103, КПП 590201001

УТВЕРЖДАЮ»
И.о. директора ПФИЦ УрО РАН
доктор физико-математических наук



«06» июня 2025 г.

06.06.2025

№ 337/2115-367

на № _____ от _____
[Отзыв ведущей организации]

О Т З Ы В

ведущей организации на диссертацию *Крюковой Миланы Сергеевны* на тему:
«Аэротермодинамическое обоснование схем проветривания линий
метрополитенов с однопутными и двухпутными тоннелями», представленную на
соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.6. –
Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная
теплофизика.

1. Актуальность темы диссертации

По мере роста населения мегаполисов растёт востребованность в использовании подземного транспорта, позволяющего увеличивать пассажиропоток, с которым не справляется наземный уличный транспорт, а также снизить стоимость перевозок. Повышение рентабельности метрополитенов связано с необходимостью постоянного совершенствования конструкций перегонных тоннелей и станций, которое достигается с помощью инновационных технологий, в том числе применением энергосберегающих систем тоннельной вентиляции. Простой перенос принципов организации вентиляции зарубежных метрополитенов неприемлем в российских климатических условиях, т.к. в зимнее время температура воздуха в перегонных тоннелях и станциях может опускаться намного ниже допустимых нормами безопасности значений. Подогрев же воздуха калориферными установками ведет к значительному удорожанию транспортных услуг. Поэтому решение проблемы обеспечения нормативных

ОТЗЫВ

ВХ. № 9-234 от 17.06.25
АУ УС

параметров на основе использования технологий с минимальным энергопотреблением является актуальной задачей.

2. Научная новизна диссертации

Выявлены закономерности формирования аэротермодинамических процессов воздушной среды в тоннелях и станциях линий метрополитена с однопутными и двухпутными тоннелями для климатических условий Российской Федерации;

Установлено, что применение рециркуляционной схемы проветривания двухпутных тоннелей в условиях Санкт-Петербурга целесообразно при значении температуры наружного воздуха в зимнее время ниже -10°C .

3. Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций

В диссертационной работе сформулировано три научных положения, содержание которых раскрывается и доказывается экспериментальными данными, численным и аналитическим моделированием аэрологических процессов, протекающих в подземном пространстве метрополитена.

Сделанные выводы логичны и следуют из полученных результатов теоретических и экспериментальных исследований. Численные решения согласуются с натурными данными, что позволяет судить о высокой степени достоверности и обоснованности положений и выводов диссертационной работы.

4. Научные результаты, их ценность

Установлено, что основным определяющим вентиляционный и тепловой режим однопутных тоннелей фактором является поршневой эффект от движущихся поездов, создающий рециркуляцию воздуха между соседними станциями, которая, в свою очередь, ведёт к накоплению выделяющегося от поездов тепла и, как следствие, повышению температуры воздуха. В двухпутном тоннеле, наоборот, поршневой эффект практически отсутствует и заметного влияния на формирование микроклиматических параметров воздуха не оказывает.

На основании разработанной математической модели процессов теплообмена в двухпутном тоннеле, учитывающей тепловое взаимодействие воздушных потоков в подшивном потолке и в транспортном отсеке, обоснована эффективность использования рециркуляционной схемы проветривания метро в зимнее время при температуре наружного воздуха -10°C и ниже.

С помощью обобщённой математической модели процессов теплообмена в двухпутном и однопутных тоннелях показано, что в летний период значение температуры воздуха на некоторых станциях может превышать допустимую величину в 28°C. Проведена также оценка необходимого увеличения расхода подаваемого в вентиляционную шахту наружного воздуха для решения этой проблемы.

По результатам проведённых в работе исследований дана оценка факторов, определяющих вентиляционный и тепловой режимы перегонных тоннелей и станций на линиях метрополитена с однопутными и двухпутными тоннелями. Применительно к двухпутным тоннелям разработана методика расчета и обоснованы параметры схем проветривания, обеспечивающие нормативные параметры воздушной среды, что представляет несомненную ценность в плане обеспечения безопасной эксплуатации метрополитенов в климатических условиях регионов Российской Федерации.

Результаты диссертационного исследования в достаточной степени освещены в 6 печатных работах, в том числе в 2 статьях – в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, в 3 статьях – в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus. Получено 3 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ.

5. Теоретическая и практическая значимость результатов диссертации

Автором разработана математическая модель для описания аэродинамического и теплового режимов на линиях метрополитенов с однопутными и двухпутными тоннелями, позволяющая осуществлять прогноз динамики микроклиматических параметров подземного воздуха в разные времена года в разных режимах движения поездов, а также прогнозировать эффект от различного рода технических решений, направленных на нормализацию микроклимата.

Разработаны рекомендации по использованию рециркуляционных схем проветривания двухпутных тоннелей, позволяющих обеспечить нормативные термодинамические параметры воздуха.

Результаты исследований внедрены в Акционерном обществе "Научно-исследовательский, проектно-изыскательский институт "Ленметрогипротранс", что подтверждается актом об использовании результатов кандидатской диссертации от 15.03.25 г.

В диссертационной работе на основании выполненных исследований дана оценка факторов, определяющих вентиляционный и тепловой режимы перегонных тоннелей и станций на линиях метрополитена с однопутными и двухпутными тоннелями, что вносит существенный вклад в развитие аэрологии подземных выработанных пространств применительно к метрополитенам в климатических условиях Российской Федерации.

6. Рекомендации по использованию результатов работы

Полученные соискателем результаты могут использоваться при анализе и выборе оптимальных технических решений по обеспечению нормативных микроклиматических параметров вентиляционного воздуха на станциях и перегонных тоннелях Санкт-Петербурга и Москвы.

Перспективным направлением дальнейшей работы, развивающей исследования, осуществленные в диссертации, следует считать обоснование возможности утилизации теплоты исходящей из выработок метрополитена воздушной струи на основе теплонасосного оборудования с последующим использованием в системах подогрева и кондиционирования воздуха.

7. Замечания и вопросы по работе

- В формуле (1.1) при интенсивности движения поездов 8 пар/час и более показатель экспоненты становится положительным, соответственно, расход циркуляционного воздуха начинает расти экспоненциально по расстоянию между станциями (сбоями). Но с увеличением длины участка тоннеля, а значит и его аэродинамического сопротивления, при том же перепаде давлений, создаваемом поршневым эффектом, расход воздуха должен уменьшаться, а не расти.

- В формула (1.2). не ясна разница между S_T (сечение тоннеля) и F_T (площадь сечения тоннеля). Возможно, под F_T подразумевается площадь поверхности тоннеля, а не его сечение. Непонятно также, по каким физическим соображениям в формуле для расчёта расхода воздуха фигурирует его теплоёмкость, к тому же явно не вписывающаяся в (1.2) по размерности.

- Первый абзац 2.5 дословно повторяет последний абзац предыдущего раздела 2.4.

- Если аэродинамическое сопротивление участка измеряется в киломюргах, а расход воздуха и перепад давлений в единицах измерений СИ, то формула (3.1) не верна, поскольку в ней отсутствует пересчётный коэффициент.

- В правой части формулы (3.8) потеряно $\lambda\rho$.

- Непонятно, с какой целью поршневой эффект моделируется двумя вентиляторами (рис.3.4), а не одним в параллель сопротивлению зазора между поездом и стенками тоннеля. Если модельных вентиляторов два, то следовало бы озаботиться соблюдением закона сохранения расхода, чтобы воздух за поездом не исчезал, а впереди поезда не появлялся ниоткуда. Однако в уравнениях (3.12) такое условие отсутствует.

- В математической модели теплового баланса, представленной в разделе 4.1 для однопутных тоннелей, не раскрыт физический смысл параметра M в дифференциальном уравнении (4.1). Если это параметр Z из следующего раздела 4.2 для двухпутных тоннелей, фигурирующий в формулах (4.10) - (4.11), то об этом следовало бы сказать, чтобы не гадать, или хотя бы не вводить разных обозначений. В таком случае непонятно, почему расчётные зависимости приведены только для Z (таблица 4.1), а для M отсутствуют.

- Ничего не говорится о том, как считается коэффициент нестационарного теплообмена, фигурирующий в расчётных зависимостях разделов 4.1 и 4.2.

- В диссертации представлены результаты исследований влияния поршневого эффекта на движение воздуха по тоннелям метрополитена. Однако почему-то ни слова не сказано о тепловых депрессиях, которые также оказывают влияние на воздухораспределение и на возникновение циркуляционных контуров.

Указанные замечания не снижают качества защищаемой работы, её актуальности, научной новизны и практической значимости.

8. Заключение по диссертации

Диссертация «Аэротермодинамическое обоснование схем проветривания линий метрополитенов с однопутными и двухпутными тоннелями», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.6. – «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика» полностью отвечает требованиям раздела 2 «Положения о присуждении ученых степеней» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», утвержденного приказом ректора Санкт-Петербургского горного университета Екатерины II от 20.05.2021 № 953 адм, а ее автор Крюкова Милана Сергеевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.6. – «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика».

Настоящий отзыв рассмотрен и утверждён на заседании семинара отдела аэрологии и теплофизики Горного институт Уральского отделения Российской академии наук («ГИ УрО РАН») (протокол № 1 от «06» июня 2025 г.).

Зайцев Артем Вячеславович,

доктор технических наук (25.00.20 – Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика), доцент (2.8.6 – Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика), заместитель директора по научной работе Горного института Уральского отделения Российской академии наук – филиала Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук («ГИ УрО РАН»)

E-mail: artem.v.zaitsev@yandex.ru

тел.: +7 (342) 216-7502

Подпись:



«06» июня 2025 г.

Я, Зайцев Артем Вячеславович,

согласен на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета ГУ.7 Федерального государственного бюджетного образовательного учреждений высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», и их дальнейшую обработку.

Подпись:



«06» июня 2025 г.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Горный институт Уральского отделения Российской академии наук – филиал Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук («ГИ УрО РАН»)

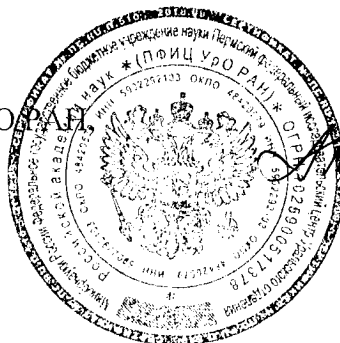
Адрес: 614007, Российская Федерация, Пермский край, г. Пермь, ул. Сибирская, д.78-А

Тел.: +7 (342) 216-7502

E-mail: arc@mi-perm.ru

Подпись Зайцева А.В. заверяю:

Главный ученый секретарь ПФИЦ УрО РАН,
к.ф.-м.н.



А.Г. Вотинова

«06» июня 2025 г.