

ОТЗЫВ

**официального оппонента доктора технических наук, профессора
ГЕНДЛЕРА Семена Григорьевича
на диссертационную работу Лугина Ивана Владимировича
«ВЕНТИЛЯЦИЯ МЕТРОПОЛИТЕНОВ С ОДНОПУТНЫМИ ТОННЕ-
ЛЯМИ В УСЛОВИЯХ РЕЗКО КОНТИНЕНТАЛЬНОГО КЛИМАТА»,
представленную на соискание учёной степени доктора технических наук по
специальности: 25.00.20 – «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная
аэрогазодинамика и горная теплофизика»**

Рецензируемая диссертационная работа изложена на 242 страницах машинописного текста, включает 4 главы, введение, заключение, одно приложение на 14 страницах, содержит 16 таблиц, 87 рисунков и список использованной литературы из 193 наименований.

1. Актуальность диссертационного исследования

Метрополитены в городах России с населением, превышающим миллионы человек, следует считать одним из основных видов транспорта, который при высокой мобильности гарантирует необходимые объёмы перевозок пассажиров. Несмотря на то, что в последние годы наметилась тенденция к использованию для движения поездов двухпутных тоннелей, число метрополитенов с однопутными тоннелями является преобладающим. Важным условием безопасной эксплуатации метрополитенов следует считать обеспечение нормативных параметров воздушной среды на станциях и в перегонных тоннелях при минимальных энергетических затратах на организацию вентиляции, которые уступают лишь энергопотреблению подвижного состава и достигают 1,2 млн. кВт·ч в год на км линии.

Создание нормативных параметров микроклимата становится особенно актуальной для метрополитенов, эксплуатируемых в резко континентальном климате, характеризующимся сравнительно высокой температурой атмосферного воздуха летом, и его низкой температурой в зимний период. На сложность решения вопросов по нормализации микроклимата влияет и мелкое заложение станций и тоннелей метрополитенов, определяющее их тесную аэродинамическую связь с поверхностью, и возможность поступления наружного воздуха. Кроме того, термодинамические параметры воздушной среды в метрополитенах оказываются зависимыми от температуры окружающих их пород, которая вследствие контакта с наружным воздухом претерпевает значительные изменения в течение годового периода.

Определённую трудность в поддержании необходимого теплового режима создают и воздушные потоки, возникающие при движении по перегонным тоннелям поездов, которые инициируют развитие, так называемого «поршневого эффекта».

Другая проблема появляется при возникновении на станциях и перегонных тоннелях аварийных ситуаций, например, пожара. Для минимизации его негативных последствий и выбора безопасных путей эвакуации людей необходимо

выполнить анализ процессов горения подвижного состава и распространения дымовых газов по тоннелям и на станциях.

Решению всех вышеперечисленных проблем посвящена диссертационная работа Лугина И.В., что и определяет её **несомненную** актуальность.

2. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций

Автор выносит на защиту пять научных положений (стр. 8-9 диссертации), раскрытых во второй–четвертой главах диссертационной работы.

Обоснование первого защищаемого положения представлено во второй главе диссертации, где описана обобщённая модель вентиляционной сети линий метрополитена, основным элементом которой является «перегон», включающий станцию с двумя полу перегонами, станционную венткамеру, пассажирские пути, перегонные тоннели, вентсбойки и перегонную камеру (стр. 50-83 диссертации). Для вычисления воздухораспределения в вентиляционной сети использовано программное обеспечение, разработанное в институте Горного Дела Сибирского Отделения РАН (ИГД СО РАН). В качестве исходных данных для вентиляционных расчётов использованы аэродинамические сопротивления всех характерных ветвей сети, величины которых установлены по известным литературным источникам. Верификация обобщённой модели вентиляционной сети и программного обеспечения осуществлена на основе сопоставления данных натурных измерений расходов воздуха на линиях действующих Новосибирского и Екатеринбургского метрополитена и результатов численного эксперимента, расхождение между которыми не превысило 18%.

Экспериментальные исследования, выполненные ИГД СО РАН по исследованию аэродинамики воздушных потоков при движении поездов, позволили предложить достаточно простую квазидинамическую модель их поршневого действия, которая затем включена в обобщённую модель вентиляционной сети.

По обобщённой модели вентиляционной сети и квазидинамической модели поршневого действия поездов в диссертационной работе осуществлено моделирование воздухораспределения при различных режимах их движения. Анализ результатов моделирования позволил оценить, какая часть воздуха от поршневого действия поезда расходуется для проветривания станций, а какая формирует циркуляционный контур внутри перегона. Эта информация необходима для последующей разработки методики прогноза теплового режима.

Второе, третье и четвёртое защищаемые научные положения раскрыты автором в третьей главе (стр. 84-163 диссертации).

В диссертационной работе уточнены закономерности формирования температурного поля вокруг параллельных однопутных тоннелей, располагающихся на глубинах до 20 м от земной поверхности. Для этого использованы как экспериментальные данные, так результаты численных расчётов, осуществлённые методом конечных элементов в пакете Ansys. Проведённый комплекс экспериментальных и теоретических исследований дал возможность определить зону теплового влияния подземных сооружений, составляющих линии изучаемых метрополитенов, равную для станций 28 м, а для тоннелей 15 м, а также

вычислить изменение тепловых потерь в грунт в течение годового периода. Установлено, что тепловой поток при среднем значении для Новосибирского метрополитена 147 Вт/м только в декабре направлен от станции в грунт. Во все остальные месяцы он имеет противоположенное направление.

Полученные данные о характере теплового взаимодействия воздушной среды на станциях и тоннелях с грунтом позволили соискателю установить общую величину теплоизбытков и связать её с требуемым для обеспечения нормативных параметров воздушной среды воздухообменом.

В диссертации убедительно показано, что его величина зависит от температуры наружного воздуха и частоты движения поездов (**второе научное положение, стр. 137**). Для станций, находящихся в центральных частях линий метрополитена, при температуре наружного воздуха, не превосходящей 8°C - 10°C , для проветривания может быть использован только поршневой эффект поездов. В тоже время, при более высокой температуре наружного воздуха и частоты движения поездов, не превышающей 22 пар/час, удельный вес воздухообмена от поршневого эффекта в общей его величине составляет лишь 20%-30% .

Для тупиковых станций, где в зимний период для поддержания в вестибюлях нормативных климатических условий используются отопительные системы, предлагается уменьшать скорость уходящих со станции поездов в зависимости от температуры наружного воздуха. В работе говорится, что этот способ позволяет поддерживать требуемую температуру в вестибюле вплоть до температуры наружного воздуха -27°C (**третье научное положение, стр. 157**).

Расчёты, выполненные с помощью квазидинамической модели поршневого эффекта, дали возможность разработать и обосновать систему тоннельной вентиляции без обустройства перегонной вентиляционной камеры. Как следует из рецензируемой работы, этот вариант, защищённый патентом на изобретение, может быть использован как при штатной, так и при аварийной вентиляции (**четвёртое научное положение, стр. 157**).

Обосновывающий материал по пятому защищаемому положению (стр. 201) представлен в четвертой главе диссертации (стр.164-205). В этой главе автор изучает теплообменные процессы между пожарно-дымовыми газами (ПДГ), образующимися при пожаре, бетонной обделкой тоннеля, грунтовым массивом. Решение данной задачи, осуществление в программном комплексе Ansys, сделало возможным исследовать объекты сложной геометрии, максимально приближенные к реальным условиям. На основании последующего анализа расчётных данных была найдена зависимость длины участка задымления и скорости движения его границы от времени, уклона тоннеля и аварийного сопротивления аварийного участка тоннеля.

Один из основных практических результатов этих расчётов заключается в обосновании путей обеспечения безопасной эвакуации людей при возгорании стоящего в однопутном тоннеле поезде с горящим средним вагоном. В диссертационной работе предложен способ повышения безопасности эвакуации за счёт оперативного увеличения аэродинамического сопротивления аварийного участка путём использования, так называемых, дымозадерживающих устройств

(ДЗУ), представляющих собой перемычки в виде «створок», расположенные непосредственно на вагонах.

В целом, следует отметить, что положения, которые автор выносит на защиту, а также выводы и рекомендации, сформулированные на их основе, можно считать вполне обоснованными.

3. Новизна, выполненных в диссертационной работе исследований, заключается:

1. В установлении закономерностей аэродинамических процессов в однопутных тоннелях метрополитена мелкого заложения, расположенных в резко континентальном климате, учитывающих сочетанное действие поршневого эффекта движущихся поездов и подачу в тоннели наружного воздуха вентиляционными установками.

2. В экспериментальном определении параметров поршневого эффекта, основанном на инструментальном измерении в условиях действующего метрополитена статического и динамического давлений, а также распределения скоростей воздушного потока по длине тоннеля перед движущимся поездом и за ним.

3. В доказательстве того, что для снижения температуры воздуха в тоннелях и станциях метрополитена мелкого заложения до нормативной величины при температуре наружного воздуха и частоте движения поездов, не превосходящих соответственно $+8...+10^{\circ}\text{C}$ и 22 пар/ч, достаточно воздуха, циркулирующего в тоннелях за счёт поршневого действия поездов. В случае поступления воздуха с более высокой, чем $+8 - +10^{\circ}\text{C}$ температурой, при частоте движения поездов, не менее 22 пар/ч, для нормализации теплового режима дополнительно к поршневому действию поездов следует использовать механическую вентиляцию, подающую в тоннели до 80% от общего количества наружного воздуха;

4. В теоретическом обосновании возможности поддержания нормативной температуры воздуха в вестибюле тупиковой станции метрополитена при температуре наружного воздуха до -27°C за счёт уменьшения количества поступающего на тупиковую станцию холодного наружного воздуха, достигаемого снижением скорости движения поездов на участке от станции до перегонной вентиляционной камеры;

5. В определении зависимости длины участка задымления и скорости движения его границы при горении поезда в однопутном тоннеле метрополитена от времени с начала пожара, уклона тоннеля и аэродинамического сопротивления аварийного участка тоннеля.

4. Достоверность результатов исследований, научных положений, выводов и рекомендаций

Достоверность исследований подтверждается:

- отсутствием противоречий между результатами, полученными в диссертации, и результатами, изложенными по данной тематике в научной литературе другими авторами;

- использованием широко апробированных методов научных исследований, включающих измерения в натуральных условиях, математическое моделирование на основе современного программного обеспечения;

- удовлетворительным совпадением результатов численных расчётов и натуральных экспериментов по исследованию режимов работы вентиляции метрополитена, а также проверкой полученных результатов на практике при эксплуатации вентиляции Новосибирского и Екатеринбургского метрополитенов;

- апробированием результатов диссертационной работы на многочисленных научных конференциях, симпозиумах, совещаниях угледобывающих предприятий, учёных советах профильных ВУЗов, их публикаций в открытой печати.

5. Практическая значимость диссертационного исследования

Практическая значимость диссертационной работы Лугина И.В. заключается в:

- разработке метода измерения в условиях действующего метрополитена величины поршневого действия поездов;

- создании технологической схемы проветривания метрополитена мелкого заложения с однопутными тоннелями без устройства перегонных вентиляционных камер;

- разработке технологии поддержания требуемых нормативных температур на тупиковой станции метрополитена в холодный период года путём управления скоростью отходящих со станции поездов;

- разработке методики для определения скорости продвижения границы участка задымления при горении поезда в тоннеле метрополитена;

- обосновании способа реализации «нулевого» режима вентиляции для случая горения поезда в тоннеле метрополитена путём применения дымозадерживающих устройств, расположенных непосредственно на поезде.

Рекомендации, разработанные на основании выполненных научных исследований, использованы при разработке режимов проветривания тупиковых станций Новосибирского метрополитена в зимнее время и Екатеринбургского метрополитена для холодного и тёплого периодов года при работе в штатных и аварийных режимах, а также проектировании системы тоннельной вентиляции Новосибирского и Омского метрополитенов.

6. Замечания по диссертационной работе

В рецензируемой диссертационной работе имеется и ряд недостатков. К основным из них следует отнести:

1. Третье, а в особенности четвёртое научные положения, несмотря на то, что они имеют достаточно полное обоснование, скорее напоминают описание

конкретных технических решений, разработанных для рассматриваемых условий. Хотелось бы, чтобы эти положения имели более глубокую связь с закономерностями, установленными в диссертационной работе на основании выполненных теоретических исследований.

2. Математическая модель, описывающая поршневое действие поездов, имеет ограниченное применение, так, в её основе лежат эмпирические зависимости, характеризующие полное и динамическое давление в голове и хвосте поезда, а также аэродинамическое сопротивление зазора между стенкой тоннеля и поверхностью поезда, на конкретном участке тоннеля, имеющим индивидуальные аэродинамические параметры (стр.67). Было бы полезно представить эту модель в форме, расширяющей область её применения, например, на основе использования безразмерных параметров, составленных из измеряемых величин и изменяющихся в определённом диапазоне. Кроме того, в уравнении, описывающем саму модель, используются величины, размерность которых приведена в различных системах единиц. При отсутствии дополнительных комментариев возникает сомнение в адекватности этой модели.

3. Исходные данные, использованные для осуществления аэродинамических расчётов по обобщённой модели вентиляционной сети, приняты по литературным источникам, датируемым концом прошлого века (монография Цодикова В.Я., 1975 г.) (стр. 52). Возникает вопрос, неужели за последние полвека величины этих параметров не претерпели изменений, в связи с применением новых материалов и конструкций?

4. Из содержания диссертационной работы не вполне ясен физический смысл «сопротивления рассеивания» (стр.64, рис.2). Если оно объясняется нестационарным характером воздушного потока перед головой поезда, связанной с сжимаемостью воздуха, то было бы полезно показать на основе анализа рисунков 2.14-2.15.

5. В диссертационной работе, по существу, отсутствует обобщённая методика тепловых расчётов линий метрополитенов мелкого заложения, включающая сложный теплообмен с грунтами, образование циркуляционных контуров, тепловыделения от поездов и других энергетических источников, поступление в воздух влаги. Это не даёт возможности для осуществления вариантных тепловых расчётов и оптимизации параметров системы вентиляции по фактору обеспечения нормативных климатических условий.

6. Текст диссертационной работы содержит разделы, не влияющие на её научную составляющую. Например, раздел 1.3 «Нормативные требования к тоннельной вентиляции» (стр. 24). В этом разделе, имеющим объём около 20 страниц, даётся подробный анализ существовавших и действующих СНиПов и СП, в которых подробно изложены требования к вентиляции и параметрам воздушной среды. На наш взгляд, было бы достаточно привести таблицу, в которой привести сопоставление между различными нормативными документами. Аналогичная ситуация и с разделом 4.1 (стр. 164) «Расчёт времени эвакуации из

тоннеля с горящим вагоном». Не ясно, зачем было приводить всем известные формулы.

7. Некоторые формулировки в тексте диссертации требуют определённого комментария. Например, фраза на странице 61 (десятая строка от нижнего края страницы и далее): «Т.е. влияние поршневого действия поезда распространяется перед ним на расстояние, равное 35-43 калибрам тоннеля. Скорее всего, это расстояние не связано напрямую со распространением изменения скорости воздуха в тоннеле (которая в общем случае равна скорости распространения звука в воздухе» и далее по тексту.

8. В диссертационной работе предложена конструкция дымозащитного устройства, позволяющего снизить скорость распространения пожарных и дымовых газов. Основу этой конструкции составляют «перемычки в виде «створок», расположенных на вагонах поезда вблизи торцов. При всей оригинальности этого технического решения, очевидно, что его реализация будет связана со значительными трудностями, так как предполагает внесение изменений в конструкцию вагонов и потребует многочисленных согласований.

Указанные недостатки, в основном, имеют рекомендательный и дискуссионный характер, не снижают научно-практической ценности диссертационного исследования И.В. Лугина и не влияют на общую положительную оценку работы.

7. Соответствие диссертационной работы критериям, установленным ВАК РФ

Диссертационная работа Лугина Ивана Владимировича является законченной научно-квалификационной работой. Установленные в диссертации закономерности формирования вентиляционного и теплового режима метрополитенов мелкого заложения, расположенных в условиях резко континентального климата, и разработанные на их основе научно-методические основы управления этими режимами дают возможность обеспечить нормативные параметры микроклимата при минимальных энергетических затратах.

Представленные в диссертационном исследовании научные положения соответствуют паспорту научной специальности 25.00.20 – «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика».

Диссертация и автореферат изложены чётким языком с использованием современной научно-технической терминологии. Стиль диссертации и автореферата соответствуют уровню научного изложения работ по горной тематике. Текст диссертации проиллюстрирован достаточным количеством схем и графиков.

Оформление диссертации и автореферата полностью соответствуют ГОСТ 7.0.11 – 2011 – «Диссертация и автореферат диссертации».

Результаты проведённых исследований достаточно полно представлены в 52 научных работах соискателя, в том числе в одной монографии и четырёх патентах на изобретение.

