



Европейская экономическая комиссия**Комитет по внутреннему транспорту****Всемирный форум для согласования правил
в области транспортных средств****Сто девяностая сессия**

Женева, 20–22 июня 2023 года

Пункт 14.1 предварительной повестки дня

**Рассмотрение АС.3 проектов ГТП ООН и/или проектов
поправок к введенным ГТП ООН и голосование по ним:
предложение по новым ГТП ООН****Предложение по окончательному докладу о ходе
разработки новых глобальных технических правил
ООН, касающихся лабораторного измерения выбросов
при торможении транспортных средств малой
грузоподъемности****Представлено Рабочей группой по проблемам энергии
и загрязнения окружающей среды***

Воспроизведенный ниже текст был принят Рабочей группой по проблемам энергии и загрязнения окружающей среды (GRPE) на ее восемьдесят седьмой сессии (ECE/TRANS/WP.29/GRPE/87, пункт 66). В его основу положен документ GRPE-87-41 с поправками, содержащимися в приложении XII к докладу. Этот текст представляется Всемирному форуму для согласования правил в области транспортных средств (WP.29) и Административному комитету (АС.3) для рассмотрения на их сессиях в июне 2023 года.

* В соответствии с программой работы Комитета по внутреннему транспорту на 2023 год, изложенной в предлагаемом бюджете по программам на 2023 год (A/77/6 (разд. 20), пункт 20.6), Всемирный форум будет разрабатывать, согласовывать и обновлять правила ООН в целях улучшения характеристик транспортных средств. Настоящий документ представлен в соответствии с этим мандатом.



I. Введение

1. В последние годы на международном уровне резко возрос интерес к определению характеристик выбросов соответствующих частиц автомобильным транспортом, не имеющих отношения к отработавшим газам. До недавнего времени доминирующая роль в выбросах, производимых автомобильным транспортом, отводилась отработавшим газам, в связи с чем все усилия регулирующих органов были направлены именно на их сокращение. Если уровень выбросов отработавших газов в результате ужесточения нормативных требований стал снижаться, то относительный вклад выбросов, не относящихся к категории отработавших газов, в общую концентрацию дисперсного вещества в окружающей среде стал увеличиваться.

2. Большинство изготовителей выпускают транспортные средства для глобального рынка или, по крайней мере, для нескольких регионов. Поскольку изготовители стремятся удовлетворить предпочтения, потребности и привычки людей в конкретных географических регионах, дизайн автомобилей в разных странах мира будет различаться. Поскольку соблюдение различных стандартов на выбросы в каждом регионе может повлечь за собой определенные затраты как с административной точки зрения, так и с точки зрения конструкции транспортных средств, изготовители таких транспортных средств, как правило, весьма заинтересованы в согласовании процедур испытаний тормозных механизмов на выбросы, а также требований к эксплуатационным характеристикам в глобальном масштабе. Органы нормативного регулирования также заинтересованы в глобальной унификации, поскольку она способствует техническому прогрессу и адаптации к нему, открывает возможности для сотрудничества в области надзора за рынком и облегчает обмен информацией между соответствующими нормативными органами.

3. В этой связи заинтересованные стороны приступили к работе по подготовке Глобальных технических правил Организации Объединенных Наций (ГТП ООН) по всемирно согласованным процедурам испытания транспортных средств малой грузоподъемности (ВПИМ) в связи с выбросами частиц в результате износа тормозов. Настоящие ГТП ООН имеют целью в максимально возможной степени согласовать процедуры испытаний на выбросы, производимые транспортными средствами малой грузоподъемности (ТСМГ). Процедуры лабораторных испытаний должны максимально отражать реальные условия вождения и давать возможность проводить прямое сравнение между характеристиками автомобилей во время сертификационных процедур и в реальной жизни. Однако данный аспект накладывает некоторые ограничения на уровень согласования, который может быть достигнут в этом плане. Кроме того, уровень развития, плотность населения и затраты, связанные с технологией изготовления тормозных систем, в разных странах будут различаться. Как следствие, ожидается, что в обозримом будущем уровень строгости законодательства будет варьироваться в зависимости от региона. По этой причине определение предельных значений выбросов в настоящих ГТП ООН пока не предусмотрено. Вместе с тем долгосрочная цель по-прежнему состоит в том, чтобы определить в рамках предстоящих поправок к настоящим ГТП ООН глобально согласованные требования к рабочим характеристикам и предельные значения выбросов.

4. ГТП ООН рассчитаны на то, что они будут включены в региональное законодательство максимально возможным числом Договаривающихся сторон. Выбор категорий транспортных средств, на которые должно распространяться действие регионального законодательства, представляет собой сложную задачу, поскольку все это зависит от региональных условий, которые невозможно предугадать. Вместе с тем, согласно положениям Соглашения ЕЭК ООН 1998 года, те или иные ГТП ООН, которые вводятся в действие Договаривающейся стороной, должны применяться ко всем транспортным средствам, условиям и оборудованию, на которые официально распространяется их действие. Поэтому при разработке области применения ГТП ООН следует проявлять осторожность, так как неоправданно обширная официальная область применения может помешать или затруднить их включение в региональное законодательство. Именно по этой причине официальная область применения настоящих ГТП ООН ограничена ТСМГ массой до 3500 кг. Такое

ограничение, однако, не означает, что область применения настоящих ГТП ООН — при их включении в региональное законодательство — не должна распространяться на более широкую группу категорий транспортных средств. Фактически, Договаривающимся сторонам рекомендуется поступать именно таким образом, если это осуществимо и целесообразно с технической, экономической и административной точек зрения.

5. Согласованный подход к измерению выбросов частиц тормозными механизмами позволит изготовителям лучше понять динамику различных тормозных систем, уменьшить разброс результатов и, как следствие, сравнивать их более достоверно, а также разрабатывать соответствующие стратегии по снижению выбросов в результате торможения.

6. Данная версия ГТП ООН не содержит никаких требований к испытаниям, характерным для других типов транспортных средств, например внедорожных и специального назначения, а также транспортных средств, предназначенных для работы в тяжелых условиях эксплуатации. Именно поэтому данные транспортные средства не включены в сферу действия настоящих ГТП ООН. Вместе с тем Договаривающиеся стороны могут применять к таким транспортным средствам положения, содержащиеся в настоящих ГТП ООН, насколько это возможно с технической точки зрения, и дополнять их другими положениями, предусмотренными региональным законодательством, например, в связи с испытаниями на выбросы в результате работы тормозных механизмов, в которых используются различные типы фрикционных материалов или сопряженных деталей.

II. Принципы

7. В ходе дискуссий между членами НРГ по ПИЧ был определен ряд требований к системе измерения выбросов при торможении:

а) процедура должна быть последовательной и воспроизводимой (возможны небольшие отклонения), с тем чтобы свести к минимуму необходимость повторных испытаний и не допускать выборочного представления данных (отбора наилучших показателей);

б) процедура должна быть достаточно надежной и отработанной для проведения оценки всех тормозных механизмов в сборе, включая те, которые в настоящее время существуют на рынке, и те, которые, по всей вероятности, появятся в будущем;

в) должна иметься возможность организовать проверку третьей стороной показателей выбросов при торможении, измеренных предписанным методом, а также любых вводимых параметров, предоставляемых изготовителем;

г) бремя проведения испытаний должно быть разумным, с тем чтобы стоимость и объем работ, необходимых для сертификации выбросов при торможении, не были непомерно высокими.

8. Дополнительную информацию об учете НРГ по ПИЧ этих требований при разработке ГТП ООН, а также сведения о всех рассмотренных технических подходах можно найти в разделе «Справочная информация технического характера» соответствующих ГТП ООН.

III. Техническая часть и вклад различных целевых групп в разработку ГТП ООН

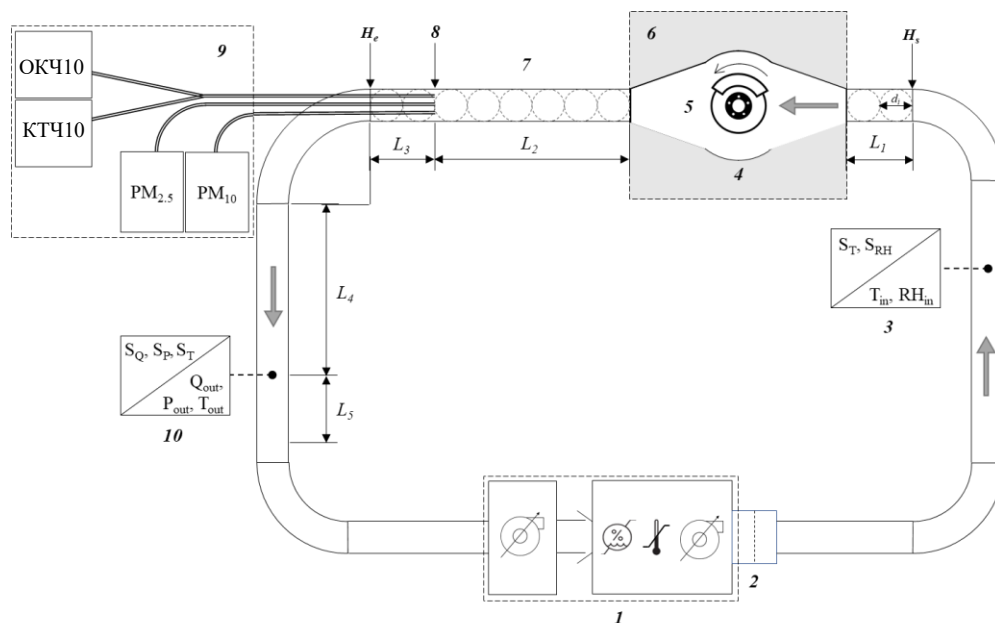
A. Требования к комплектному оборудованию

1. Общая компоновка системы

9. На рис. 1 изображена схема, которая включает минимально необходимые подсистемы, позволяющие проводить испытания на выбросы в результате торможения с использованием тормозного динамометра. На иллюстрации показан климатический блок кондиционирования с вентилятором(ами), создающим(и) переменный поток, который подает кондиционированный воздух на установку. Кондиционированный воздух поступает в тормозной кожух с таким расчетом, чтобы он охватывал весь тормозной механизм, подлежащий испытанию. Испытание тормозов обеспечивается и контролируется тормозным динамометром. Кожух непосредственно соединен с туннелем для отбора проб, в конце которого установлены пробоотборные зонды. Эти зонды используются для отбора аэрозоля из туннеля в направлении установки для измерения РМ и КЧ. Устройство для измерения расхода устанавливается в туннеле ниже по направлению потока воздуха от плоскости отбора проб. Расположение и размеры различных элементов носят ориентировочный характер. Более подробная информация о различных элементах установки приведена в настоящем пункте ниже, а также в соответствующих пунктах ГТП ООН.

Рис. 1

Ориентировочная схема проведения испытания тормозов на выбросы в лаборатории. 1 — климатический кондиционер, оснащенный вентилятором(ами) переменного расхода, а также системой контроля температуры и влажности воздуха; 2 — фильтрующая среда для охлаждающего воздуха; 3 — датчики температуры и влажности охлаждающего воздуха; 4 — тормозной кожух; 5 — тормозной механизм в сборе; 6 — тормозной динамометр (не изображен); 7 — туннель для отбора проб; 8 — плоскость отбора проб; 9 — приборы для измерения РМ и КЧ; 10 — блок измерения расхода воздуха



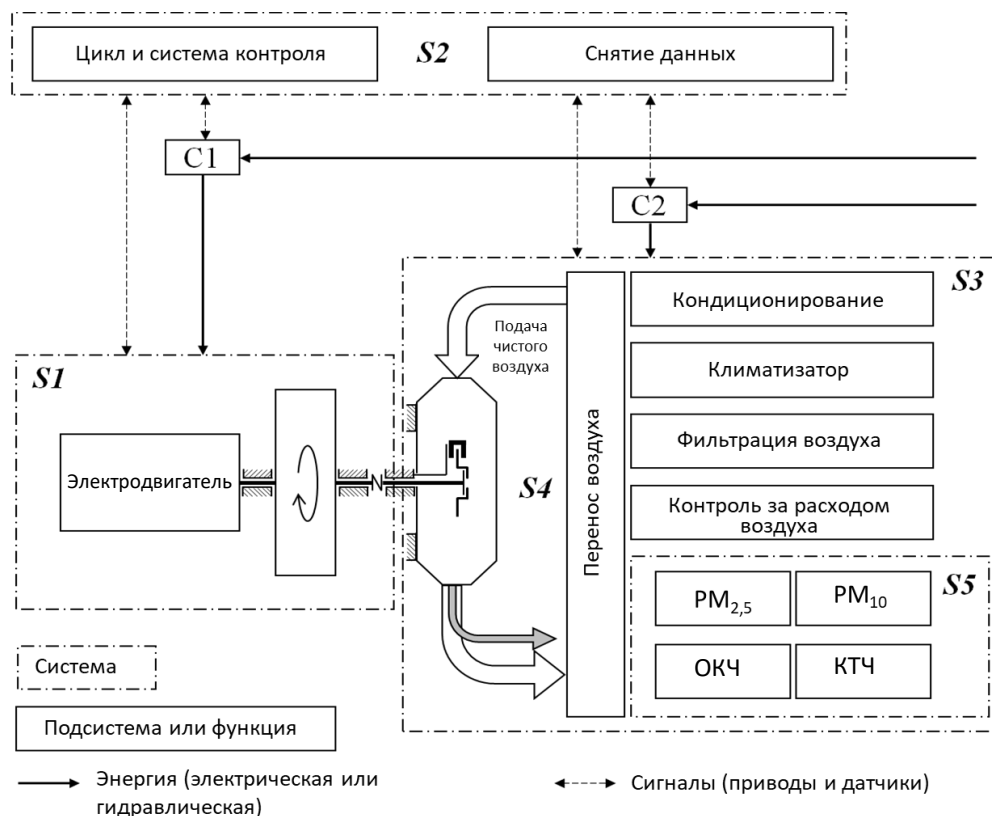
2. Тормозной динамометр и система автоматизации

10. Тормозной динамометр — это техническая система, которая передает регулирующую кинетическую энергию испытываемому тормозу. На рис. 2 изображена схема испытательной системы с тормозным динамометром и показано взаимодействие с минимальным числом подсистем, которые нужны для проведения испытания тормозов на выбросы. Более подробная информация приведена в тексте самих ГТП ООН. Было решено, что тормозной динамометр должен состоять, как минимум, из следующих элементов: а) электродвигателя с регулируемой скоростью, предназначенного для ускорения или поддержания постоянной скорости вращения; б) сервоконтроллера для приведения в действие испытываемого тормоза; в) механического узла в сборе для крепления испытываемого тормоза, обеспечения свободного вращения диска или барабана и поглощения сил реакции в процессе торможения; г) жесткой конструкции для монтажа всех обязательных подсистем. Эта конструкция должна быть способна воспринимать усилия и крутящий момент, создаваемые испытываемым тормозом; д) датчиков и устройств для сбора данных и контроля работы испытательной системы. Указанные выше спецификации были разработаны при деятельном участии изготовителей тормозных динамометров и с учетом современного уровня технической разработки таких устройств, представленных на рынке.

11. Неотъемлемой частью испытательной системы является система автоматизации, управления и сбора данных (S2). Она непрерывно контролирует скорость вращения двигателя, а также работу и взаимодействие различных систем (S3, S4, S5). Система автоматизации, управления и сбора данных выполняет все функции, обеспечивающие проведение испытания тормозов на выбросы. Она ускоряет тормозную систему во время разгона, поддерживает постоянную скорость в ходе прогона на эксплуатационной скорости и модулирует момент трения во время замедления с целью уменьшить кинетическую энергию вращающихся масс. Кроме того, она обеспечивает соответствующий интерфейс для оператора, хранит данные, снятые в ходе испытания, и обеспечивает взаимодействие с другими системами на испытательной станции. Программное обеспечение, которое управляет испытательной системой, должно быть рассчитано на выполнение, как минимум, следующих функций: а) автоматическое выполнение цикла вождения за счет работы всех процессов замкнутого цикла (в основном для управления тормозами, подачи охлаждающего воздуха и работы приборов для измерения выбросов); б) постоянно снимать и регистрировать данные со всех соответствующих датчиков в целях генерирования выходных данных, определенных в настоящих ГТП ООН; в) контролировать сигналы, сообщения, предупреждения или аварийные остановки со стороны оператора и различных систем, подключенных к испытательной системе. Как было установлено в ходе МЛИ, некоторые из ныне существующих систем не позволяют правильно выполнить цикл испытаний тормозных механизмов на основе ВПИМ. Поэтому было решено провести ряд проверок с целью подтверждения способности системы автоматизации, управления и сбора данных обеспечить правильное прохождение испытаний. Они оговорены в соответствующем разделе, посвященном циклу испытаний тормозов на основе ВПИМ. Кроме того, многие из представленных в настоящее время на рынке систем не поддерживают в режиме реального времени функции, не связанные с трением, такие как рекуперативное торможение. Это является одной из причин, по которым выбор был остановлен на испытаниях в условиях полноприводного фрикционного торможения с использованием для экстраполяции на испытания в условиях нефрикционного торможения соответствующих коэффициентов, как поясняется далее в докладе.

Рис. 2

Тормозной динамометр и система автоматизации в общей схеме испытаний. S1: тормозной динамометр, S2: система автоматизации, управления и сбора данных, S3: блок климатического кондиционирования, S4: кожух тормоза и плоскость отбора проб, S5: система измерения выбросов. C1 и C2: система контроля и мониторинга энергопотребления испытательной станции. Серая стрелка обозначает пробу аэрозоля, взятую из испытуемой тормозной системы



3. Конструкция тормозного кожуха

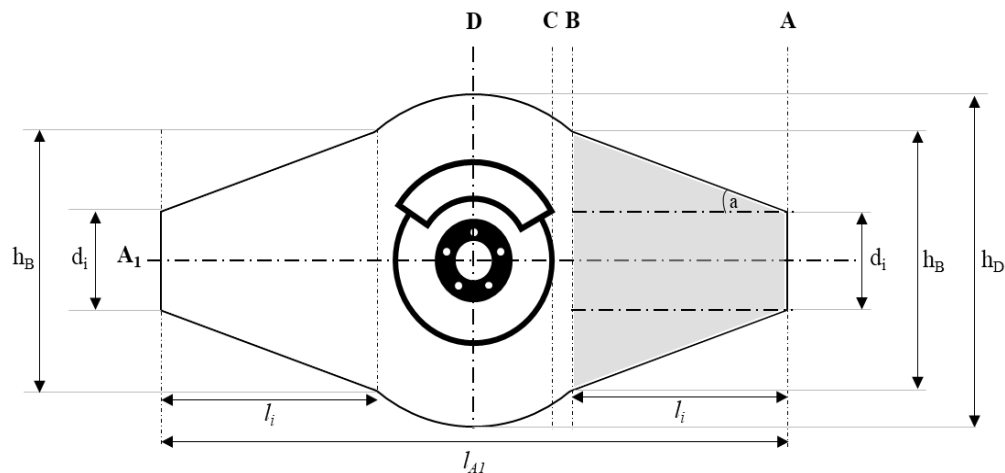
12. Для целей МЛИ были определены жесткие требования, предъявляемые к конструкции кожуха, призванные обеспечить максимальную эффективность переноса частиц, их максимальное распределение и однородность, а также минимальное время прохождения. В порядке ограничения зон рециркуляции потока предложено избегать крутых изгибов и резких изменений поперечного сечения. Допускались постепенные изменения поперечного сечения, однако для их компенсации рекомендовано соблюдать плавные углы перехода, равно как избегать изгибов под углом более 90°. Было настоятельно рекомендовано избегать использования крупногабаритных кожухов по причине более высокого времени прохождения через них и более значительных потерь частиц. Также было рекомендовано использовать для внутренних стенок кожуха электрополированную отделку или иной электропроводящий материал, с тем чтобы избежать потерь частиц в результате электростатического осаждения. В таблице 1 приводится обзор основных характеристик кожуха, сообщенных испытательными станциями, которыми были проведены успешные испытания с измерением выбросов [1] и которые согласились обнародовать габаритные размеры. Кодовые обозначения испытательных станций не приводятся по соображениям конфиденциальности.

Таблица 1
Обзор основных характеристик кожуха, сообщенных испытательными станциями, которыми были проведены успешные испытания с измерением выбросов. «НЕРЖ.» означает «нержавеющая сталь». «Д/Н» означает «данных нет»

Лаборатория	Ориентация	Наклон	Длина (мм)	Высота (мм)	Глубина (мм)	h_v/h_r (%)	Материал	Объем (м ³)
1	По горизонтали	нет	1 200	550	400	60 %	НЕРЖ. с электрополированной отделкой	0,10
2	По горизонтали	нет	1 489	696	290	100 %	Шлифовка #400	Д/Н
3	По вертикали	Д/Н	760	760	460	Д/Н	Алюминий	0,21
4	По горизонтали	нет	1 200	550	400	60 %	НЕРЖ. с электрополированной отделкой	0,14
5	По горизонтали	нет	1 200	550	400	60 %	НЕРЖ. с электрополированной отделкой	0,14
6	По горизонтали	нет	1 342	720	410	72 %	НЕРЖ. с электрополированной отделкой	<0,30

13. В рамках усилий по согласованию конструкции кожуха была предложена «универсальная» ромбовидная форма, показанная на рис. 3. Если конкретнее, то кожух тормоза должен иметь две конические или трапециевидные секции, пересекающиеся с цилиндром в центре, концентричном к оси вращения тормоза. Четыре из шести лабораторий, представивших информацию о форме кожуха, использовали данную конструкцию. Несколько других испытательных станций уже остановили свой выбор на аналогичной конструкции. Кожух определяется одной горизонтальной и четырьмя вертикальными плоскостями. Плоскость A_1 представляет собой горизонтальную плоскость, в которой расположена ось вращения тормоза и ось впускного и выпускного воздухопроводов. Плоскость А представляет собой вертикальную плоскость, в которой расположено входное отверстие кожуха. Плоскость В представляет собой вертикальную плоскость в конце перехода от впускного канала к центральной части кожуха. Плоскость С определяется самым большим тормозным механизмом в сборе, применяемым на транспортных средствах, подпадающих под сферу действия настоящих ГТП (т. е. с диаметром тормозного диска 450 мм). Плоскость D представляет собой вертикальную плоскость, совмещенную с осью вращения тормоза.

Рис. 3
Ориентировочное схематическое изображение тормозного кожуха и его основные размеры



14. В целях обеспечения единообразия кожух должен быть спроектирован симметрично плоскостям A_1 и D . Рассматривались и иные конструкционные решения; однако по линии ПИЧ не было получено никаких экспериментальных данных, подтверждающих практическую применимость несимметричных конструкций для проведения измерений выбросов при торможении. Несмотря на отсутствие доказательств того, какая из схем расположения — вертикальная или горизонтальная — является более либо менее благоприятной в плане уровня выбросов, по соображениям гармонизации было решено предписать размещение только в горизонтальной плоскости.

15. По сообщению ряда испытательных станций, использовавших кожух высотой 550 мм, им пришлось столкнуться с трудностями при испытании тормозов более крупного диаметра. Поэтому было предложено установить минимально допустимое значение высоты, составляющее 600 мм, в порядке обеспечения того, чтобы кожух подходил для самого крупного тормозного механизма в сборе, применяемого на транспортных средствах, подпадающих под сферу действия ГТП ООН (т. е. с диаметром тормозного диска 450 мм). На основании размерных данных, представленных испытательными станциями, также была установлена максимально допустимая высота 750 мм во избежание кожуха завышенного габарита. Аналогичным образом, было определено, что длина плоскости A_1 должна составлять от 1200 мм до 1400 мм при предложенной глубине кожуха по оси в пределах 400–500 мм. Наконец, высоту на плоскость B (h_B) надлежит — по примеру всех участвовавших в МЛИ испытательных станций — спроектировать таким образом, чтобы соотношение h_B/h_D всегда было больше 60 % ($h_B/h_D > 60\%$). Подробные спецификации, касающиеся размеров, приведены в тексте ГТП ООН.

16. Что касается времени прохождения, то компанией «ЛИНК Инжиниринг» были представлены результаты анализа применительно к симметричной конфигурации, отвечающей спецификациям, определенным в ГТП ООН. В таблице 2 отражены различные сценарии, смоделированные в рамках исследования методом вычислительной гидродинамики (ВГД). Как видно, при таком конструкционном исполнении показатель времени прохождения находится на довольно низком уровне независимо от степени разброса проверяемых параметров. Авторы приходят к выводу, что время прохождения зависит главным образом от величины расхода воздуха [2]. Общий вывод состоит в том, что предлагаемая конструкция отвечает требованию обеспечения минимального времени прохождения через кожух.

Таблица 2

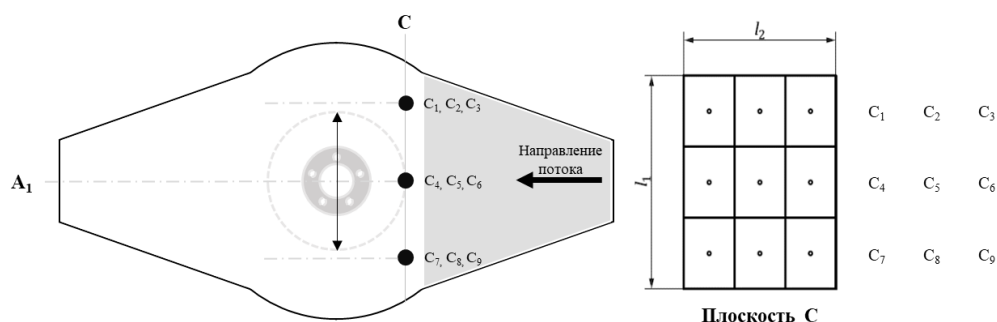
Обзор основных характеристик кожуха, сообщенных испытательными станциями, которыми были проведены успешные испытания с измерением выбросов. «ПоЧС» означает «по часовой стрелке». «ПрЧС» означает «против часовой стрелки»

Прогон	Расход воздуха (м ³ /ч)	Размер тормоза	Конструкция диска	Вращение тормоза	Скорость вращения тормоза (об/мин)	Тормозное приспособление	Время прохождения (с)
1	400	Небольшой	Цельный	ПрЧС	900	Типа штанги	0,40
2	400	Крупный	Цельный	ПрЧС	400	Поворотный кулак	0,35
3	1 000	Крупный	Вентилируемый	ПрЧС	900	Поворотный кулак	0,22
4	400	Крупный	Вентилируемый	ПоЧС	900	Типа штанги	0,35
5	1 000	Небольшой	Цельный	ПоЧС	900	Поворотный кулак	0,17
6	1 000	Крупный	Цельный	ПоЧС	400	Типа штанги	0,20
7	400	Небольшой	Вентилируемый	ПоЧС	400	Поворотный кулак	0,37
8	1 000	Небольшой	Вентилируемый	ПрЧС	400	Типа штанги	0,23

17. Другое основное требование, предъявляемое к конструкции кожуха, касается необходимости обеспечения максимального распределения частиц и максимальной однородности их потока. Было решено допустить использование на стороне впуска перед плоскостью В выпрямителей потока или диффузионных пластин в порядке обеспечения максимально возможной степени равномерности расхода на уровне плоскости С. По соображениям обеспечения равномерности скорости поступающего воздуха было предписано измерять значения скорости воздуха в девяти положениях на плоскости С, как определено на рис. 4. Подробная информация о проектировании плоскости С и выполняемых измерениях содержится в основном тексте ГТП ООН. Измерения проводят при минимальном и максимальном рабочих расходах системы. Площадь поперечного сечения на входе в кожух рассчитывают таким образом, чтобы скорость воздуха в плоскости С оставалась ниже допуска в $\pm 35\%$ от среднего арифметического значения всех измерений для данного расхода. Основной концептуальный подход к подтверждению равномерности скорости поступающего воздуха соответствует определенному в стандарте ISO-9096.

Рис. 4

Контрольные позиции для проверки скорости воздуха



18. Две испытательные станции в ходе контрольно-измерительных мероприятий уже получили подтверждение того, что предлагаемое конструктивное исполнение отвечает изложенным в ГТП ООН критериям равномерности скорости. Кроме того, как было указано, скорость воздуха в плоскости С может оставаться ниже допуска в $\pm 20\%$ от среднего арифметического значения всех измерений; однако было решено предусмотреть более «мягкий» целевой показатель $\pm 35\%$.

4. Тормозное приспособление и суппорт

19. В ходе МЛИ испытательными станциями было предложено размещать суппорт таким образом, чтобы свести к минимуму возможность нарушения потока поступающего охлаждающего воздуха. Суппорт рекомендуется устанавливать в верхней части диска в положении «1–2 часа» или «10–11 часов» с учетом направления откачки воздуха. Тормозной диск должен вращаться в направлении откачки воздуха вне зависимости от ориентации воздуховода (против часовой стрелки (ПрЧС), если поток поступающего охлаждающего воздуха направлен справа налево, или по часовой стрелке (ПоЧС), если поток поступающего охлаждающего воздуха направлен слева направо). Никакой спецификации, регламентирующей схему крепления, установлено не было. В таблице 3 представлены обобщенные данные относительно типа приспособления, направления вращения диска и положения суппорта в ходе МЛИ.

Таблица 3

Обобщенные данные относительно типа приспособления, направления вращения диска и положения суппорта в ходе МЛИ. L0-U означает приспособление универсального типа без соединения со ступицей колеса; L0-P означает приспособление типа штанги с соединением со ступицей колеса; L1 означает приспособление в виде поворотного кулака с соединением со ступицей колеса

Лаборатория	Лаб. В	Лаб. С	Лаб. D	Лаб. F	Лаб. G	Лаб. H	Лаб. J	Лаб. K	Лаб. L	Лаб. M	Лаб. N	Лаб. P	Лаб. Q	Лаб. R	Лаб. S	Лаб. T
Тип приспособления	L0-U	L0-U	L0-U	L0-U	Проч.	Проч.	L0-U	L1	L0-U	L0-U	L0-P	L1	L0-P	L0-U	Д/Н	L0-P
Направление вращения диска	ПрЧС	ПрЧС	ПрЧС	Д/Н	ПрЧС	ПрЧС	ПрЧС	ПрЧС	ПоЧС	ПрЧС	ПрЧС	ПоЧС	ПрЧС	ПрЧС	ПоЧС	ПоЧС
Положение суппорта (на сколько «часов»)	11	9	3	8	10	10	11	12	9	9	10	12	11	10	1-2	2

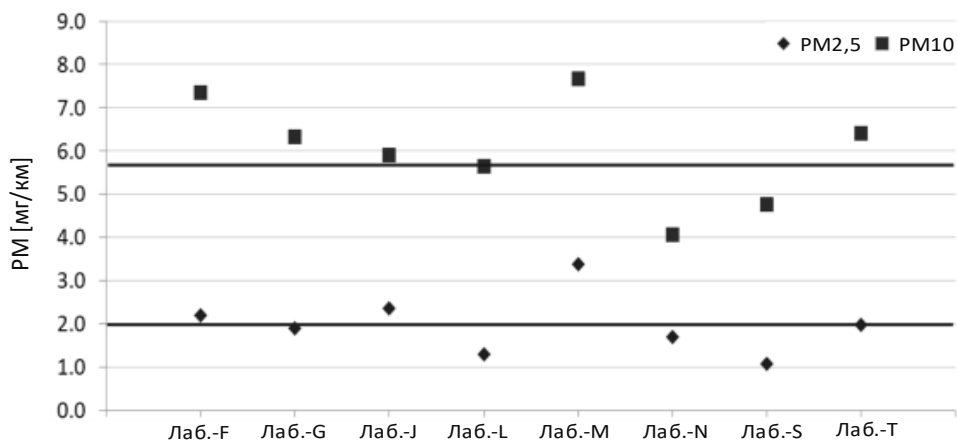
20. Было решено, что правильным положением установки тормозного механизма в сборе является его расположение по центру тормозного кожуха. В ходе МЛИ большинство лабораторий придерживались этого условия. Данное требование гораздо легче выполнить благодаря симметричной конструкции кожуха. Опорное приспособление тормозного механизма в сборе должно обеспечивать свободное вращение тормоза на 360° с низким коэффициентом трения либо без трения и без вибрации или колебаний во время испытания. Было решено, что тормозная система должна устанавливаться на динамометре с помощью универсального (L0-U) либо штангового (L0-P) тормозного приспособления. Разрешаются различные варианты приспособлений L0-U и L0-P. В ходе МЛИ приспособления этих типов использовали 11 из 15 лабораторий. Тормозные приспособления в виде поворотного кулака не допускаются, поскольку, по имеющимся данным, в процессе испытания на выбросы на них могут накапливаться частицы. Более подробная информация о спецификациях приспособлений приведена в основном тексте ГТП ООН. Тормозной диск или барабан всегда должен вращаться в направлении откачки воздуха. В ходе МЛИ 15 из 16 лабораторий соблюдали это требование; посему невозможно сделать однозначный вывод о том, оказывает ли вращение в противоположном направлении негативное влияние на выбросы. Даже если в условиях практического использования на

транспортном средстве вращение происходит в противоположном направлении, цель метода — направить все частицы в туннель для отбора проб с минимально возможными потерями. Поэтому было предписано унифицировать применяемый всеми испытательными станциями метод за счет указания «в направлении откачки воздуха».

21. В ходе МЛИ были апробированы самые разнообразные варианты ориентации суппорта. Результаты проведенных лабораториями G, J, L, S и T измерений PM_{10} приближались к среднему значению PM_{10} для эталонного тормоза (рис. 5). Этими лабораториями применялись различные варианты ориентации, главным образом в верхней части диска. Тем не менее невозможно сделать обоснованный вывод о том, как ориентация суппорта сказывается на выбросах PM . По итогам проведенных ЯАРИ штатных измерений с использованием всех ориентаций суппорта было установлено, что замеренные значения PM_{10} находятся в пределах $\pm 20\%$. Такое колебание значений не выходит за рамки разброса в измерениях выбросов PM_{10} . По соображениям гармонизации было предложено устанавливать суппорт в фиксированное положение («на 12 часов»), т. е. иначе, нежели рекомендовалось в ходе МЛИ. Иное положение суппорта не допускается, даже если на реальном транспортном средстве, оснащённом испытуемым тормозом, используется другая ориентация. Ориентация самого транспортного средства не имеет значения, поскольку кожух представляет собой закрытую систему (в отличие от колеса автомобиля), целью которой является эффективное улавливание частиц, направление их к плоскости отбора проб и поддержание определенного температурного режима. Наконец, как показывают исследования методом вычислительной гидродинамики (ВГД), ориентация суппорта оказывает лишь незначительное влияние на перемешивание частиц и время их откачки [2].

Рис. 5

Выбросы PM эталонным тормозом на повороте в mg/km по данным отдельных лабораторий. Верхняя линия показывает среднее значение PM_{10} . Нижняя линия показывает среднее значение $PM_{2,5}$



5. Измерение температуры тормозов

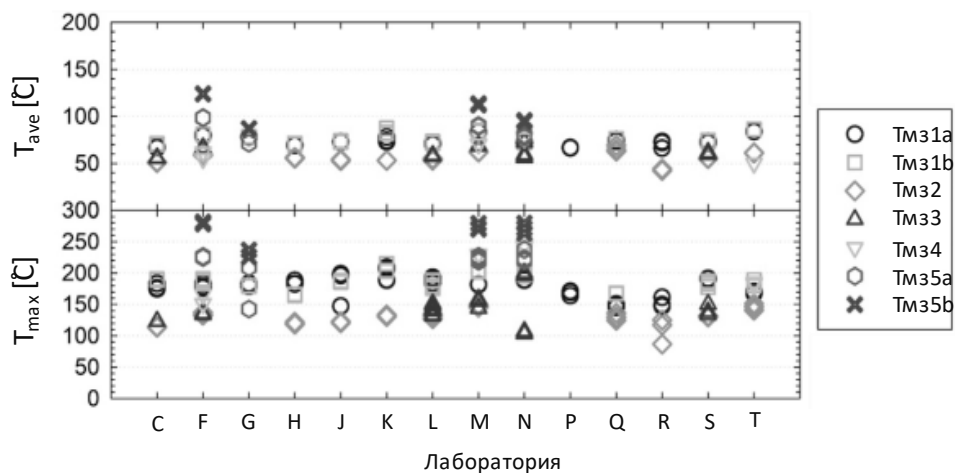
22. В ходе МЛИ обязательным требованием являлось использование для измерения температуры тормозного диска или барабана встроенных термопар. В случае дисковых тормозов испытательным станциям было предложено помещать термопару в наружную трущуюся поверхность диска, радиально расположенную в 10 мм от центра дорожки трения в направлении наружу и утопленную на глубину $(0,5 \pm 0,1)$ мм под поверхность диска. Аналогичным образом, в случае барабанных тормозов лабораториям было предписано помещать термопару в центр дорожки трения, утопленной на $(0,5 \pm 0,1)$ мм ниже внутренней поверхности тормозного барабана. Испытанием на эффективность по стандарту ISO 26867 предусматривается утопление на глубину 0,5 мм. ЦГ1 взяла данное требование за основу, поскольку оно

отражает общепринятую практику в отрасли. Допуск же в $\pm 0,1$ мм обеспечивает определенную гибкость. Также было рекомендовано одновременно с температурой диска измерять температуру тормозных колодок или башмаков, причем в случае колодок встраивать одну термопару на глубину 1,0 мм вблизи центра поверхности трения на каждой колодке, а в случае тормозных башмаков — на глубину 1,0 мм вблизи центра поверхности трения башмака, на который приходится наибольшая нагрузка. Испытательным станциям надлежит уделять особое внимание обрывам, износу и прокладке (в порядке обеспечения свободного перемещения суппорта) проводов термопар для внутренних колодок.

23. На рис. 6 отражены средние и максимальные значения температуры, зарегистрированные в ходе всех испытаний по линии МЛИ на всех тормозах. Внимательное изучение данных показывает, что для одних и тех же тормозов различными испытательными станциями в целом были получены одинаковые средние температуры. Различия максимум в $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ наблюдались для эталонного тормоза, испытание которого проводилось всеми испытательными станциями. Средние температуры тормозов #2 (Тмз2) и #3 (Тмз3) находились на одном уровне и неизменно в пределах $15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Наибольшая разница в средних температурах наблюдалась в случае Тмз5b. Максимальные температуры характеризовались более значительными отклонениями, что нормально, поскольку речь идет о точечном значении температуры. Принимая во внимание различия, обусловленные условиями проведения испытания на разных станциях (например, проблемы с правильным выполнением цикла, проведение испытаний при более низкой кинетической энергии), был сделан вывод, что характеристики встроенных термопар, а также инструкции по их установке являются адекватными. Более подробная информация относительно соответствующих спецификаций приведена в основном тексте ГТП ООН.

Рис. 6

Средние и максимальные значения температуры тормозов, зарегистрированные в рамках МЛИ всеми испытательными станциями на всех тормозах

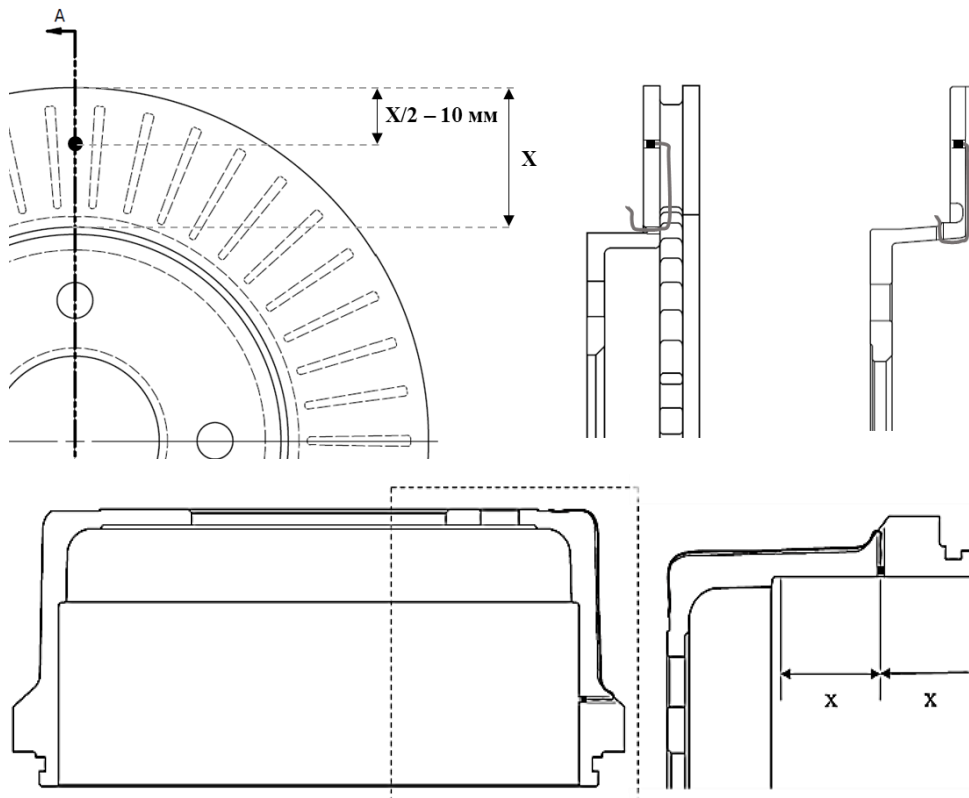


24. На рис. 7 изображена схема надлежащей установки встроенной термопары в тормозные диски и барабаны. Что касается измерения температуры фрикционного материала, то в ходе МЛИ лабораторией N было замечено применительно к Тмз3, что наличие установленной в накладке термопары приводит к довольно плотному прилеганию последней, вызывая чрезмерное сопротивление при проведении регулировки охлаждающего воздуха. По сообщению ряда других испытательных станций, в прошлом им приходилось сталкиваться с аналогичными проблемами. Они указали, что установка термопары является — в отличие от описанного в протоколе — довольно непростой задачей: термопара, размещенная на расстоянии 1 мм ниже поверхности, может привести к разрушению материала тормозной колодки в этой зоне. Кроме того, прокладка провода термопары по тормозному щиту может

привести к дополнительному тормозному моменту, который скажется на измерении частиц ввиду сужения расстояния между тормозной колодкой и тормозным суппортом. Поэтому было решено внести изменения в предусмотренную ГТП ООН спецификацию, регламентирующую измерение температуры колодок/башмаков. В сущности, такая информация оказалась полезной для исследовательских целей; когда же речь идет о нормативных испытаниях протоколом должно гарантироваться отсутствие всяких помех или факторов, обуславливающих искусственное повышение температуры. По этой причине установка встроенных или других типов термопар для измерения температуры тормозных колодок или башмаков в контексте настоящих ГТП ООН крайне нежелательна.

Рис. 7

Схема установки встроенных термопар в тормозные диски (верхний рисунок) и барабаны (нижний рисунок)



6. Туннель для отбора проб

25. Туннель для отбора проб определяется как участок между выходом из тормозного кожуха и входом зондов для отбора проб. В ходе МЛИ было рекомендовано ограничить до минимума количество изгибов в конструкции туннеля для отбора проб, а при необходимости – проектировать их с радиусом, превышающим в 1,5 раза внутренний диаметр туннеля. Было предложено располагать плоскость отбора проб на расстоянии не менее 5 гидравлических диаметров вниз по потоку и не менее 2 гидравлических диаметров вверх по потоку от последнего нарушения потока. Использование для целей измерения содержания РМ разделителей потока не рекомендовалось. Никаких ограничений на внутренний диаметр туннеля для отбора проб не предусматривалось. В таблице 4 представлены обобщенные данные относительно внутреннего диаметра туннеля для отбора проб, радиуса изгиба и расстояния плоскости отбора проб от последнего нарушения потока в ходе МЛИ.

Таблица 4

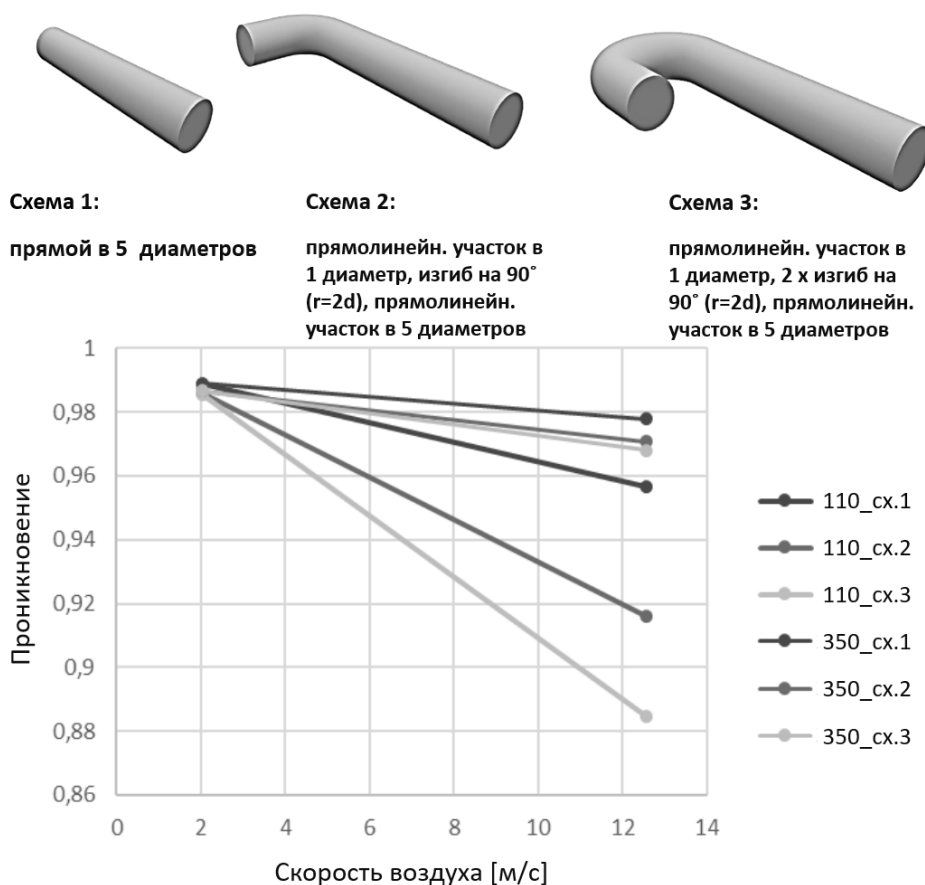
Обобщенные данные относительно внутреннего диаметра туннеля для отбора проб (d_i), радиуса изгиба и расстояния плоскости отбора проб от последнего нарушения потока (вверх и вниз по потоку). Белые и серые клетки обозначают лаборатории, которые провели успешные и сомнительные измерения РМ, соответственно [1]

	Лаб. B	Лаб. C	Лаб. D	Лаб. F	Лаб. G	Лаб. H	Лаб. J	Лаб. K	Лаб. L	Лаб. M	Лаб. N	Лаб. P	Лаб. Q	Лаб. R	Лаб. S	Лаб. T
Радиус изгиба	6d _i	2d _i	4d _i	10d _i	2d _i	1,5d _i	1,5d _i	2d _i	>1,5d _i	2d _i	2d _i	1,7d _i	3d _i	2d _i	2d _i	1,5d _i
Внутренний диаметр туннеля	160	355	253	108	150	125	150	300	175	150	150	150	148	150	219	160
Расстояние в диаметрах вниз по потоку	8d _i	5d _i	4d _i	5,5d _i	5d _i	6d _i	5d _i	0d _i	4d _i	5d _i	8d _i	5d _i	6d _i	8d _i	7d _i	6,5d _i
Расстояние в диаметрах вверх по потоку	6d _i	5d _i	Д/Н	2d _i	Д/Н	2d _i	2d _i	0d _i	1,7d _i	2d _i	2d _i	2d _i	2d _i	2d _i	2,3d _i	2d _i

26. Компанией «Форд» был проведен анализ на предмет изучения величины потерь частиц в туннеле в условиях, предусмотренных в рамках МЛИ. Результаты этого анализа были представлены ЦГ2. Были рассмотрены три различные конфигурации: прямолинейный туннель длиной в 5 диаметров между выходом из кожуха и входными отверстиями на плоскости отбора проб; один изгиб на 90° с прямолинейным участком длиной в 5 диаметров выходом из кожуха и входными отверстиями на плоскости отбора проб; и один изгиб на 180° с прямолинейным участком длиной в 5 диаметров выходом из кожуха и входными отверстиями на плоскости отбора проб, как показано на рис. 8 (верхнее изображение). Были проанализированы различные диаметры туннелей и различные значения расхода воздуха с учетом типичных для МЛИ условий испытания. Предметом рассмотрения стали различные сценарии: применительно к диффузионным, гравитационным и инерционным потерям. Как видно из рис. 8, с увеличением диаметра воздуховода увеличивается и показатель проникновения; однако для частиц диаметром 10,7 мкм разница является весьма незначительной. Аналогичным образом, в случае сценариев с высокой скоростью воздушного потока отмечается более низкий показатель проникновения по сравнению со сценариями с низкой скоростью воздушного потока, причем разница не является существенной. В целом, потери в туннелях всех трех конфигураций при типичных значениях скорости воздуха, использовавшихся в ходе МЛИ, весьма малы (например, для частиц диаметром 5 мкм при наихудшем варианте они составляют приблизительно 1,5 %). «Форд» приходит к заключению, что — даже исходя из допущения в рамках МЛИ наихудшего сценария — ожидаемая разность показаний по всему диапазону значений РМ₁₀ составляет малую величину (порядка 2,5 %). Аналогичные выводы были сделаны по итогам анализа, проведенного ОИЦ, который рассматривается ниже в разделе, посвященном вопросу измерения РМ.

Рис. 8

Проникновение частиц диаметром 10,7 мкм при различных сценариях, предусмотренных в рамках МЛИ, для трех различных схем туннеля. Учетные значения расхода воздуха в туннеле: 110 м³/ч и 350 м³/ч



27. Исходя из представленных выше аналитических выкладок, в рамках ГТП ООН допускаются две возможных варианта конструкции туннеля для отбора проб: схема без изгиба и схема с одним изгибом. Предполагается, что результаты измерений РМ и КЧ, полученные с применением обеих схем, не будут существенно различаться. Вместе с тем, испытательной станции надлежит обеспечить соответствие конструкции туннеля для отбора проб следующим требованиям: а) в туннеле для отбора проб можно предусмотреть максимум один изгиб на 90° или менее при условии, что радиус изгиба не менее чем в два раза превышает внутренний диаметр воздуховода ($2 \cdot d_i$). С целью сведения к минимуму инерционных потерь вместо радиуса изгиба, составляющего 1,5 диаметра, был выбран радиус изгиба в два диаметра. Кроме того, перед местом расположения плоскости отбора проб за изгибом должен следовать прямолинейный участок воздуховода длиной не менее шестикратного диаметра данного воздуховода ($6 \cdot d_i$) (ISO 9096). Наконец, вдоль плоскости отбора проб до места любого нарушения потока должен проходить прямолинейный участок воздуховода длиной не менее двукратного диаметра данного воздуховода ($2 \cdot d_i$) (ISO 9096); б) если в туннеле для отбора проб нет изгиба, то перед местом расположения плоскости отбора проб за выходом из кожуха должен следовать прямолинейный участок воздуховода длиной не менее шестикратного диаметра данного воздуховода ($6 \cdot d_i$) (ISO 9096). Кроме того, вдоль плоскости отбора проб до места любого нарушения потока должен проходить прямолинейный участок воздуховода длиной не менее двукратного диаметра данного воздуховода ($2 \cdot d_i$) (ISO 9096).

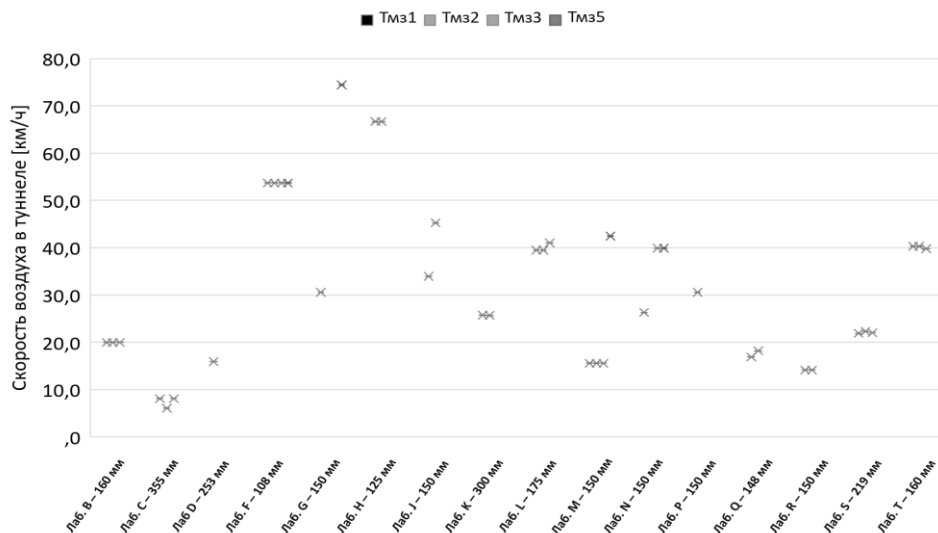
28. Как видно из таблицы 4, все испытательные станции, проводившие приемлемые измерения РМ, соблюдали требования относительно удаленности от мест нарушения потока, за исключением лаборатории L, которая указала расстояние в четыре диаметра

туннеля вниз по потоку от кожуха вместо требуемых пяти. Судя по представленным результатам измерения РМ, эта разница не является столь уж значимой. Следует отметить, что лабораторией К выполнялось большинство требований, установленных ЦГ2; однако в ее случае плоскость отбора проб располагалась непосредственно на выходе из кожуха. Такая схема размещения не подходит, ибо может быть сопряжена с образованием значительных струйных потоков, проходящих через насадку, с результирующими высокими потерями более крупных частиц. Согласно лаборатории К, еще одной причиной более высоких потерь РМ может быть переход на участке от выхода из кожуха до выпускного патрубка к прямоугольному сечению. Тем не менее, на основании имеющихся данных выразить потенциальные последствия количественно и дать им окончательную оценку не представляется возможным. Как бы то ни было, в ГТП ООН закрепляется требование, согласно которому испытательные станции должны обеспечивать проектирование круговых воздухопроводов без изменений поперечного сечения между выходом из кожуха и плоскостью отбора проб.

29. В ходе МЛИ применялись схемы с самыми различными величинами внутреннего диаметра туннеля (таблица 4). На рис. 9 отражены значения скорости воздуха в туннеле, использовавшиеся лабораториями при испытании Тмз1, Тмз2, Тмз3 и Тмз5 (в случае применимости).

Рис. 9

Значения скорости воздуха в туннеле, использовавшиеся испытательными станциями при испытании различных тормозов в ходе МЛИ



30. Типичные значения скорости потока в туннеле, отмечавшиеся в ходе МЛИ, варьировались в пределах 15–45 км/ч для всех испытуемых тормозов (испытание Тмз4 проходило при том же показателе расхода воздуха, что и в случае Тмз1). Лабораториями F и H все испытания проводились при высоких значениях скорости воздуха ввиду малых диаметров воздухопроводов (108 и 125 мм, соответственно). Следствием использования воздухопроводов таких малых диаметров могут стать сравнительно высокие инерционные потери, особенно при наличии изгибов и с учетом схемы размещения; однако в случае лаборатории F это не нашло подтверждения (как явствует из результатов анализа, который рассматривается ниже в пункте, касающемся измерения РМ). С другой стороны, лабораторией С все испытания проводились при очень низкой скорости воздуха в туннеле (<10 км/ч) ввиду крайне большого диаметра воздухопровода (355 мм). Проведение испытаний при такой низкой скорости воздуха в туннеле не рекомендуется по причине увеличения гравитационных потерь. Кроме того, использование воздухопроводов большого диаметра диктует необходимость в дополнительном пространстве для их установки. В целом было решено, что воздухопровод проботборного туннеля должен иметь постоянный внутренний диаметр не менее 175 мм и не более 225 мм ($175 \text{ мм} \leq d_i \leq 225 \text{ мм}$).

Поступил запрос на обязательное установление применительно ко всем схемам фиксированного диаметра туннеля для отбора проб (а именно, 200 мм); однако подавляющее большинство членов группы не согласилось с этим предложением и высказались за предоставление испытательным станциям определенной гибкости в плане определения конфигурации с учетом их потребностей. Предъявление требования в виде обязательного фиксированного диаметра стало бы существенным фактором ограничения по сравнению с тем размерным диапазоном диаметров, который использовался в ходе МЛИ (108–355 мм).

7. Плоскость отбора проб

31. Плоскость отбора проб — это вертикальная плоскость в пробоотборном туннеле, расположенная в месте входного отверстия пробоотборных зондов. Все точки отбора должны находиться в одной и той же зоне поперечного сечения в соответствии со спецификациями, описанными в ГТП № 15 ООН (выбросы с отработавшими газами). Как пояснялось выше, было решено располагать плоскость отбора проб на расстоянии не менее 6 гидравлических диаметров вниз по потоку и 2 гидравлических диаметров вверх по потоку от последнего нарушения потока. Более подробно вопрос о соблюдении определенного расстояния в зависимости от конструкции туннеля для отбора проб рассматривается в предшествующем пункте.

32. В настоящее время есть два варианта конфигурации плоскости отбора проб: схема с тремя зондами отбора проб и схема с четырьмя зондами отбора проб. В ходе МЛИ было рекомендовано не использовать при измерении РМ устройства разделения потока во избежание возможных потерь, прежде всего частиц крупной фракции. При использовании же разделителя потока было рекомендовано поддерживать изменение угла натекания потока на уровне $\leq 20^\circ$ на каждом выходе с целью сведения потерь частиц к минимуму. В любом случае, большинством испытательных станций устройства разделения потока не использовались; поэтому сделать однозначный вывод об их пригодности для целей измерения РМ не представляется возможным. С другой стороны, в случае измерения КЧ было рекомендовано разрешить прибегать к разделению потока при условии соблюдения определенных требований к потоку. Потери частиц менее крупного размера, которые и представляют интерес для целей измерения КЧ, скорее всего, будут крайне незначительными, если в обоих ответвлениях разделителя обеспечиваются одинаковые скорости потока. Это было подтверждено при калибровке систем подсчета количества частиц в отработавших газах.

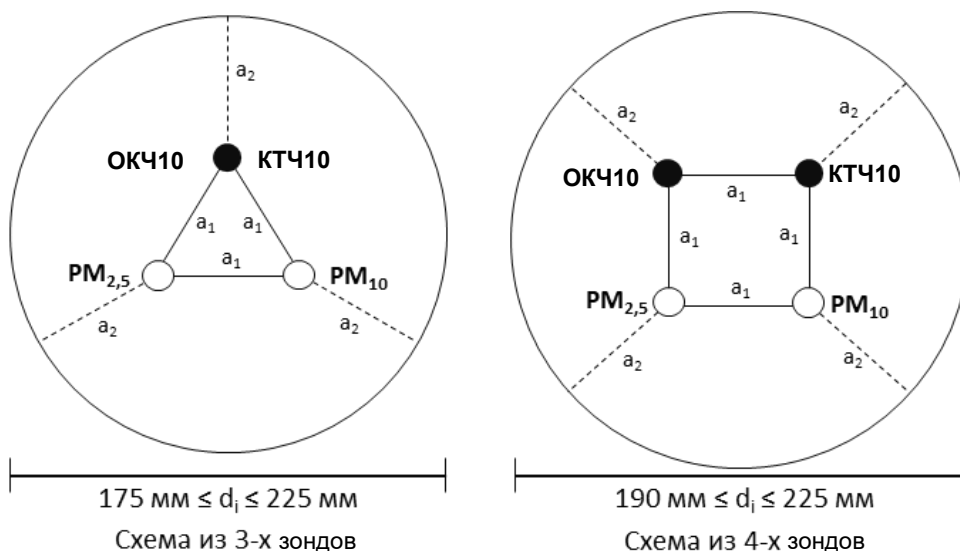
33. Исходя из этих требований, было решено допустить определенную гибкость при проектировании плоскости отбора проб. Если конкретнее, то было решено предусмотреть минимум три и максимум четыре точки отбора (с соответствующими пробоотборными зондами) в зависимости от внутреннего диаметра туннеля. Две точки отбора неизменно должны предназначаться для измерения РМ — одна для РМ_{2,5} и другая для РМ₁₀. Кроме того, одна (в случае схемы с тремя зондами) или две (в случае схемы с четырьмя зондами) точки отбора должны отводиться под измерение КЧ (ОКЧ10 и КТЧ10). Это позволит использовать пробоотборный зонд для измерения не только регулируемых параметров (например, распределения частиц по размерам). Вне зависимости от используемой схемы (с тремя или четырьмя зондами) зонды должны располагаться на равном удалении друг от друга вокруг центральной продольной оси пробоотборного туннеля на минимальном расстоянии между ними 47,5 мм. Кроме того, расстояние от зонда до стенок воздуховода также должно составлять не менее 47,5 мм. В обоих случаях расстояние от зонда до воздуховода измеряется по внешнему диаметру пробоотборных зондов. Изначально эти расстояния были определены на уровне не менее 50 мм в соответствии со стандартом ISO 9096; однако в порядке обеспечения применительно к схеме с тремя зондами возможности проектирования туннелей диаметром 175 мм был предусмотрен допуск $\pm 5\%$. Как следствие, в случае схемы с тремя зондами минимальный диаметр воздуховода должен составлять 175 мм, а в случае схемы с четырьмя зондами — 190 мм. Наконец, было решено располагать два зонда РМ на одном горизонтальном уровне (т. е. в нижней части зоны поперечного сечения в вертикальной плоскости), как показано на рис. 10, во избежание неправильного перемешивание, особенно при низких скоростях подачи охлаждающего

воздуха (подробное разъяснение приведено в разделе, посвященном вопросу измерения РМ).

На рис. 10 показано надлежащее расположение зондов для отбора проб РМ и КЧ в случае схем с тремя и четырьмя пробоотборными зондами.

Рис. 10

Расположение зондов для отбора проб РМ и КЧ в случае схем с тремя и четырьмя пробоотборными зондами



В. Испытательный цикл (Цикл испытаний тормозных механизмов на основе ВПИМ)

1. Общая информация

34. В основу цикла испытания на выбросы при торможении положен хронологический график цикла испытаний тормозных механизмов по всемирной согласованной процедуре испытания транспортных средств малой грузоподъемности (ВПИМ). Прежние циклы динамометрических испытаний направлены на проверку эксплуатационных характеристик, долговечности и шумовых параметров (например, согласно стандарту SAE J2522 для испытаний по программе «АК Master»). Эти циклы позволяют получить полезную информацию о выбросах при торможении, однако ими не охватывается весь диапазон типичных условий вождения/торможения, как указано в справочном материале [3]. По линии специальной целевой группы (ЦГ1) осуществлялась деятельность по разработке нового цикла испытаний тормозных механизмов, который отражал бы реальные условия практического применения тормозов. Разработанный цикл испытаний тормозных механизмов на основе ВПИМ был аттестован на уровне как транспортного средства, так и динамометрического стенда, и представлен НРГ по ПИЧ и исследовательскому сообществу в 2018 году [4].

35. Для целей разработки профиля цикла испытаний тормозов на основе ВПИМ была использована справочная база данных ВПИМ, включающая данные об эксплуатации автомобилей в реальных условиях по пяти различным регионам (ЕС, США, Индия, Корея и Япония) с общим пробегом 743 694 км. Данные ВПИМ подразделяются на следующие: скорость транспортного средства, частота вращения двигателя (для большинства автомобилей), дата и время суток, а также количество поездок. В базе данных отсутствует какая-либо информация, имеющая отношение к тормозам. В порядке проведения различия между событиями замедления с торможением и без торможения были включены пороговые кривые зависимости от скорости транспортного средства и величины замедления [4]. Для целей дальнейшего анализа была произведена разбивка данных ВПИМ с выделением двух групп: поездки на короткое расстояние и этапы остановки. Короткая поездка — это связанная временная

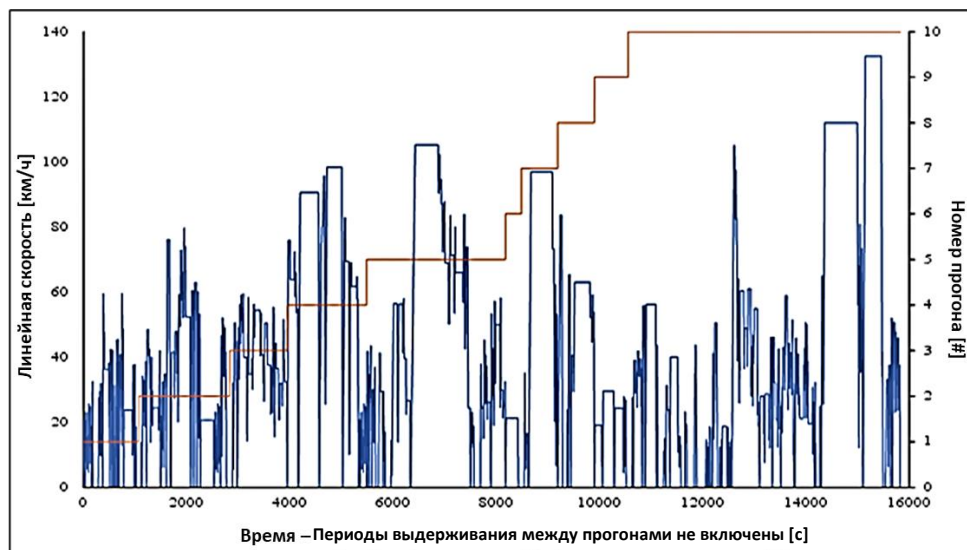
последовательность событий при скорости движения транспортного средства ≥ 1 км/ч. Короткие поездки подразделяются на четыре класса в зависимости от максимальной скорости их совершения: низкой: $V_{\max} \leq 60$ км/ч, средней: $60 \text{ км/ч} < V_{\max} \leq 80$ км/ч, высокой: $80 \text{ км/ч} < V_{\max} \leq 110$ км/ч и сверхвысокой: $V_{\max} > 110$ км/ч.

36. Для целей разработки цикла испытаний тормозных механизмов на основе ВПИМ было произведено распределение ездовых параметров по определенным группам, а именно: продолжительность фазы торможения; расстояние, покрытое за фазу торможения; количество фаз торможения на пройденное расстояние; скорость в начале торможения; средняя скорость замедления и временной интервал между событиями торможения. Для получения применительно к разрабатываемому циклу испытаний тормозных механизмов эталонного распределения соответствующих параметров применялся следующий подход: на основе данных, почерпнутых из европейской части базы данных ВПИМ, были рассчитаны показатели распределения скорости в начале фаз торможения для коротких поездок в разбивке по четырем различным классам скорости ВПИМ: низкая, средняя, высокая и сверхвысокая. Затем временные показатели для классов скорости по европейской части базы данных были сопоставлены с временными показателями для классов скорости ВПИМ (без этапов остановки). Были выведены поправочные коэффициенты для расчета взвешенного общего распределения, служащего референтным базисом для цикла испытаний тормозных механизмов. Более подробная информация приводится в справочном материале [4].

37. Разработка цикла велась в пять этапов: 1) анализ совместного частотного распределения фаз торможения с учетом скорости в начале торможения, продолжительности и среднего замедления по каждому классу скорости при короткой поездке. Эти классы были объединены в трехкомпонентные кластеры (скорость, продолжительность остановки, ускорение). Затем кластеры по четырем различным классам скорости были сведены во взвешенную итоговую таблицу кластеров; 2) из всей базы данных ВПИМ об эксплуатации в реальных условиях были отобраны те поездки на короткое расстояние, события торможения в ходе которых соответствовали полученному совместному частотному распределению фаз торможения с учетом скорости в начале торможения, продолжительности и среднего замедления. Затем эти поездки на короткое расстояние объединялись в цикл вместе с фазами непродолжительной остановки (3–5 с) таким образом, чтобы время движения оставалось достаточно коротким; 3) для целей соответствия распределению времени между остановками в цикл были включены (либо предусмотрены более длительные) фазы остановки или постоянной скорости, с тем чтобы обеспечивалось надлежащее распределение периодов между последовательными фазами торможения; 4) в порядке обеспечения более четкого распределения по базе данных была произведена «тонкая настройка». Кроме того, во избежание путаницы между замедлением накатом и замедлением при торможении все фазы замедления без торможения были заменены на сегменты постоянной скорости. Наконец, на смену всех фаз ускорения и замедления пришло линейное увеличение/уменьшение скорости транспортного средства (постоянные значения ускорения); 5) далее цикл был разделен на 10 прогонов с 9 перерывами по ходу его проведения (этапы выдерживания) с учетом того обстоятельства, что средняя протяженность прогона по ВПИМ гораздо меньше общей протяженности нового цикла.

Рис. 11

Скорость транспортного средства с разрешением по времени в ходе цикла испытаний тормозных механизмов на основе ВПИМ и классификация числа прогонов



38. Цикл испытаний тормозных механизмов на основе ВПИМ представлен на рис. 11. Он состоит из 303 событий замедления при общем расстоянии 192 км и нетто-протяженности около 4½ ч (15 826 секунд активного регулирования скорости без учета этапов охлаждения между отдельными прогонами цикла). Таким образом, средняя скорость составляет 43,7 км/ч (без учета перерывов между прогонами), что вполне приближается к средней скорости согласно базе данных ВПИМ (46,5 км/ч). Максимальная скорость составляет 132,5 км/ч, а показатель замедления скорости торможения варьируется от 0,5 до 2,2 м/с² при среднем значении 0,97 м/с². На долю фаз остановки приходится 12,9 % по сравнению с целевым показателем 13,5 %, указанным в базе данных ВПИМ по ЕС. Количество фаз торможения на 1 км составляет 1,56 при целевом значении 1,58. Весь цикл представлен в свободном доступе [5], а подробное описание последовательности различных событий в рамках цикла приведено в приложении к ГТП ООН.

2. Проверки качества

39. В документе GRPE-81-12 и протоколе ЦГ2 были изложены спецификации, касающиеся проверки правильности выполнения цикла испытаний тормозных механизмов на основе ВПИМ применительно ко всем этапам испытания на выбросы при торможении: i) регулировка охлаждающего воздуха; ii) процедура приработки; iii) измерение выбросов. Предусматривались две различные проверки:

- при выполнении цикла испытаний тормозных механизмов на основе ВПИМ допускается количество нарушений скоростного режима, не превышающее максимум 10 %. Нарушение скоростного режима происходит всякий раз, когда фактическая скорость динамометра выходит за верхний или нижний пределы допусков кривой скорости, предусмотренных для номинальной скорости (± 2 км/ч);

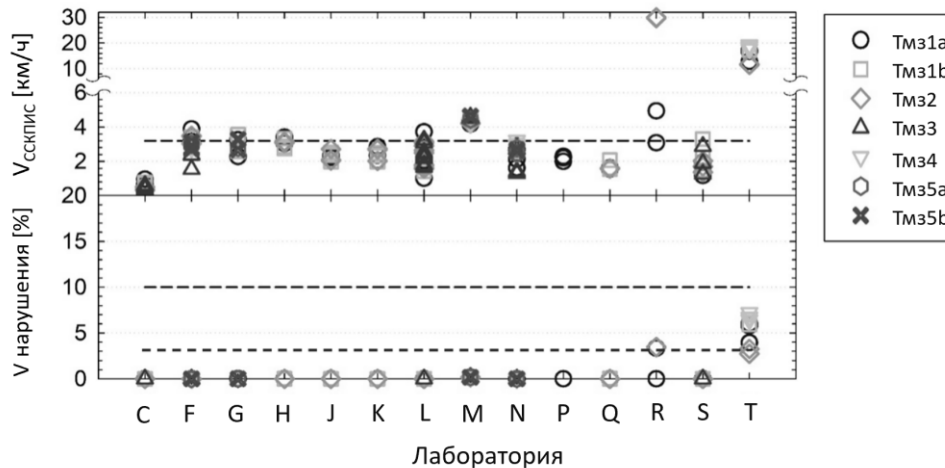
- рекомендуемая погрешность измерения скорости как ССКПИС (суммарная среднеквадратичная погрешность измерения скорости) при выполнении цикла испытаний тормозных механизмов на основе ВПИМ не должна превышать 1,6 км/ч. Согласно спецификации, при ССКПИС > 3,2 км/ч испытание признается незачетным.

40. Как явствует из данных МЛИ, некоторые испытательные станции столкнулись с проблемой обеспечения правильного следования программе цикла испытаний тормозов на основе ВПИМ (рис. 12). Отсюда вытекает вывод, что одних лишь вышеуказанных критериев недостаточно для выявления возникающих проблем. Поэтому для целей качественной проверки правильности выполнения цикла

испытаний тормозных механизмов на основе ВПИМ были учтены дополнительные параметры. К их числу относятся нижеследующие.

Рис. 12

Совокупные данные по нарушениям скоростного режима и ССКПИС в ходе стандартных испытаний на выбросы для всех тормозов по всем испытательным станциям. Данные от лабораторий В и D включены не были по причине серьезных проблем с файлами с привязкой ко времени



i. Проверка нарушений скоростного режима. В порядке обеспечения повторяемости и воспроизводимости испытания при выполнении цикла испытаний тормозных механизмов на основе ВПИМ допускается количество нарушений скоростного режима, не превышающее максимум 3 %. Было предложено еще больше снизить предусматриваемое в ГТП ООН максимально допустимое количество нарушений до 3 % (с 10 %). Этот критерий качества аналогичен критерию, установленному в ГТП № 15; однако поскольку скорость регулируется динамометром (а не водителем, находящимся на динамометрическом стенде, как в случае ГТП № 15 ООН), предполагается, что задача будет решена путем задействования соответствующих органов управления стендом. Наконец, было предложено изъять из спецификаций требование, касающееся несоблюдения параметра ССКПИС.

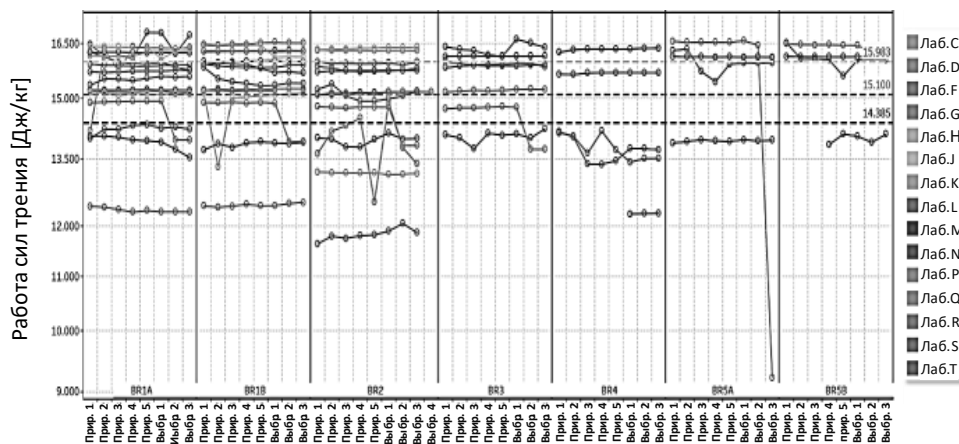
ii. Количество событий замедления. Как явствует из данных МЛИ, в ходе отдельных испытаний некоторые испытательные станции столкнулись с проблемой реализации при прогоне по программе цикла испытания тормозов на основе ВПИМ надлежащего количества событий торможения. Это свидетельствует о системной ошибке в тестовом сценарии и о наличии проблемной области в случае, когда определенные операции торможения — например, связанные с высокими затратами энергии, — не учитываются. Поэтому было предложено ввести проверку качества, которая позволяет определить количество выполненных событий торможения. Необходимо обеспечить, чтобы в ходе цикла испытаний тормозных механизмов на основе ВПИМ были реализованы все события торможения. Нарушение этого критерия происходит всякий раз, когда фактическое количество выполненных событий торможения не равно номинальному значению (т. е. 303). Количество произведенных воздействий на тормоз проверяется с использованием представленных файлов с привязкой к событиям. Параметры «Длительность остановки» и «Скорость замедления — усредненное расстояние» подлежат повторной проверке и перепроверке с целью убедиться, что они включают 303 числовых и ненулевых значения, которые соответствуют всем событиям торможения в ходе цикла испытаний тормозных механизмов на основе ВПИМ.

iii. Рассеяние кинетической энергии. Как явствует из данных МЛИ, некоторые испытательные станции столкнулись с проблемой применения при прогоне по программе цикла испытания тормозов на основе ВПИМ соответствующего номинального значения работы сил трения (15 983 Дж/кг) (рис. 13). Если конкретнее, то испытательными станциями, в случае которых отмечалось более чем 10-процентное

отклонение от номинального показателя работы сил трения (лаборатории С, Р, Q, Н и R), было зарегистрировано гораздо более низкое содержание КЧ в выбросах по сравнению с нефильтрованным (и фильтрованным) средним показателем по всем лабораториям. Как следствие, было предложено включить положение, согласно которому общая работа сил трения в ходе испытаний на выбросы должна составлять $\pm 5\%$ от номинального значения. Проверка качества рассеяния кинетической энергии призвана обеспечить реализацию правильного объема удельной работы сил трения (W_f) во время выполнения цикла испытаний тормозных механизмов на основе ВПИМ. Она также представляет собой дополнительную проверку качества, подтверждающую, что другие входные параметры (например, инерция при испытании тормозов) были рассчитаны и применены должным образом.

Рис. 13

Совокупные данные по этапам приработки и измерения выбросов в ходе стандартных испытаний на выбросы для всех тормозов по всем испытательным станциям. Номинальная работа сил трения в цикле испытания тормозных механизмов на основе ВПИМ составляет 15 983 Дж/кг. Анализ проводился по файлам с привязкой к событиям



3. Заданный температурный режим

41. Спецификации, регламентирующие температуру тормозов в начале каждого прогона в рамках цикла испытания тормозных механизмов на основе ВПИМ, были изложены — применительно ко всем этапам испытания тормозов на выбросы — в документе GRPE-81-12 и протоколе ЦГ2. Если конкретнее, то предусматривалось, что прогон #1 цикла испытаний тормозных механизмов на основе ВПИМ должен начинаться при температуре окружающей среды ($20 \pm 5^\circ\text{C}$). В отношении всех последующих прогонов испытательной станции надлежало дожидаться, пока температура тормоза четко не достигнет 40°C . В случае серии последовательно проводимых испытаний на выбросы прогон #1 второго цикла (равно как всех дополнительных циклов) должен был начинаться при температуре 40°C .

42. Хотя данные МЛИ и выявили наличие ряда несоответствий предъявляемым требованиям, подавляющее большинство испытаний было проведено с соблюдением установленных спецификаций, регламентирующих начальную температуру тормозов (таблица 5). Если конкретнее, то был отмечен ряд несоответствий спецификациям по начальной температуре при прогоне #1, которые обусловлены главным образом тем, что испытательные станции проводили испытания на выбросы № 2 и № 3 сразу же после первого испытания на выбросы: в заданные спецификации укладывались 75 % из 221 точки снятия показаний. По начальной же температуре при прогонах #2–10 было зафиксировано весьма небольшое число несоответствий спецификациям: 95 % из 221 точки снятия показаний укладывались в заданные спецификации. Скорее всего, эти несоответствия связаны с настройкой динамометрического стенда, который начинал прогон цикла при температуре $<40,5^\circ\text{C}$, а не четко 40°C .

Таблица 5

Обобщенные статистические данные относительно начальной температуры тормоза в ходе стандартных испытаний на выбросы для всех тормозов по всем испытательным станциям. Белые графы указывают на соответствие начальной спецификации. Серые графы указывают на отход от начальной спецификации

Начальная температура	Прогон #1 [°C]	Прогон #2 [°C]	Прогон #3 [°C]	Прогон #4 [°C]	Прогон #5 [°C]	Прогон #6 [°C]	Прогон #7 [°C]	Прогон #8 [°C]	Прогон #9 [°C]	Прогон #10 [°C]
Средняя (спецификации)	24,8 (20 ±5)	38,9 (<40)	38,8 (<40)	38,7 (<40)	38,8 (<40)	38,9 (<40)	34,0 (<40)	38,8 (<40)	38,9 (<40)	37,3 (<40)
Мин. температура	17,7	27,3	27,3	27,1	27,1	27,1	25,2	27,1	26,2	26,0
5 ^й процентиль	19,4	34,1	33,0	33,4	32,8	33,8	28,7	33,2	34,0	28,8
50 ^й процентиль	22,9	39,7	39,7	39,7	39,7	39,7	33,9	39,7	39,7	39,1
95 ^й процентиль	32,6	40,4	40,5	40,3	40,4	40,5	39,2	40,5	40,4	40,4
Макс. температура	122,1	41,2	41,4	41,2	42,2	42,3	40,5	41,6	41,5	41,9

43. На основе этих данных было внесено предложение по трем отдельным этапам испытания тормозов на выбросы:

а) этап регулировки охлаждения: к этапу регулировки охлаждения относятся конкретные положения, касающиеся температуры тормозов в начале прогона #10. За начальную температуру при прогоне #10 цикла испытания тормозов на основе ВПИМ, закрепленную в спецификации, предлагается взять значение 40 °C. Это позволит обеспечить определенную сопоставимость процедуры регулировки охлаждения применительно ко всем испытательным станциям и всем тормозам. Предлагается прогревать тормоза до 40 °C по завершении последовательности событий торможения с #1 по #7 в процессе прогона #10 (события торможения # 190–196, если рассматривается весь цикл испытаний тормозных механизмов на основе ВПИМ). Данный метод был с успехом применен в ходе МЛИ;

б) этап приработки: на этапе приработки применяются конкретные положения, касающиеся температуры тормозов в начале каждого цикла испытаний тормозных механизмов на основе ВПИМ. За начальную температуру при прогоне #1 первого цикла испытания тормозов на основе ВПИМ было взято значение 23 ±5 °C. С целью уменьшения продолжительности испытаний испытательная станция не проводит этапы выдерживания между отдельными прогонами цикла испытаний тормозных механизмов на основе ВПИМ в ходе процедуры приработки. В процессе МЛИ не было выявлено сколь-либо существенных проблем с перегревом тормозов при использовании данного метода. С другой стороны, между пятью повторными циклами испытаний тормозных механизмов на основе ВПИМ должны проводиться этапы выдерживания. Последующие четыре цикла испытаний тормозов на основе ВПИМ (со 2-го по 5-й) надлежит начинать не ранее, чем температура тормозов достигнет 40 °C. Наконец, спецификацией, регламентирующей минимальную начальную температуру для циклов 2–5 испытаний тормозов на основе ВПИМ, было предписано значение в 30 °C во избежание проведения испытания на выбросы при слишком низких температурах;

в) этап измерения показателей выбросов: к этапу измерения выбросов относятся конкретные положения, касающиеся температуры тормозов в начале прогона #10. Предлагается оставить спецификацию, регламентирующую начальную температуру при прогоне #1, без изменений, однако с внесением определенного корректива в составляющее 23 °C значение температуры подаваемого охлаждающего воздуха (23 ±5 °C). С учетом того, что испытания все тормозов надлежит проводить по протоколу, предполагающему условия полноприводного фрикционного торможения, также было предложено

сохранить целевое значение начальной температуры при прогонах #2–10 в 40 °С. Наконец, спецификацией, регламентирующей минимальную начальную температуру при прогонах #2–10, было предписано значение в 30 °С во избежание проведения этапа измерения выбросов при слишком низких температурах.

С. Кондиционирование охлаждающего воздуха

44. Кондиционированный охлаждающий воздух а) обеспечивает чистое и непрерывное охлаждение тормозного механизма и б) переносит аэрозоль из кожуха в туннель для отбора проб и зонды для отбора проб РМ/КЧ. Охлаждающий воздух должен: i) представлять собой постоянный поток, позволяющий обеспечить повторяемость и воспроизводимость условий испытания; ii) находиться в стабильных условиях температуры и влажности и; iii) быть чистым с низкими значениями фоновой концентрации количества частиц.

1. Измерение расхода охлаждающего воздуха

45. ЦГ2 не были представлены конкретные спецификации, регламентирующие точное место расположения устройства измерения расхода/скорости относительно кожуха и плоскости(ей) отбора проб. Было лишь рекомендовано производить измерения либо перед кожухом, либо ниже по потоку от точки отбора проб. При измерении расхода/скорости перед кожухом рекомендуется располагать измерительный элемент в центре воздуховода на расстоянии не менее 8 гидравлических диаметров вниз по потоку и не менее 2 гидравлических диаметров вверх по потоку от любого нарушения потока. При измерении расхода/скорости ниже по потоку от точки отбора проб рекомендуется располагать измерительный элемент в центре воздуховода также на расстоянии не менее 8 гидравлических диаметров вниз по потоку и не менее 2 гидравлических диаметров вверх по потоку от любого нарушения потока. Объемный расход было предписано поддерживать на протяжении всего испытания тормозных механизмов на выбросы на постоянном уровне.

46. В ходе МЛИ 8 испытательных станций производили замер скорости охлаждающего воздуха, а 8 — показателя его расхода. Пять испытательных станций измеряли скорость/расход охлаждающего воздуха только перед кожухом, а 6 — только ниже по потоку от кожуха. Наконец, пять испытательных станций измеряли скорость/расход охлаждающего воздуха как перед кожухом, так и ниже по потоку от кожуха. При замерах скорости/расхода охлаждающего воздуха, проводившихся перед кожухом, были выявлены определенные проблемы, связанные главным образом с неточностью измерений, обусловленной перепадами в размерах воздуховода, что не позволяет точно рассчитать показатель расхода на плоскости отбора проб. Кроме того, при замерах перед кожухом нельзя выявить возможные утечки в кожухе и ниже по потоку от него, способные пагубно сказаться на результатах измерения выбросов.

47. Поскольку объемный расход является одним из важнейших параметров, от которых зависит правильность расчета выбросов РМ и КЧ, было решено согласовать, насколько это возможно, порядок его измерения. В этой связи было принято решение о допустимости измерения только расхода воздуха (а не его скорости). Кроме того, измерение должно проводиться ниже по потоку от плоскости отбора проб. Если конкретнее, то было предписано располагать элемент измерения расхода в центре воздуховода не менее чем на пять внутренних диаметров вниз по потоку и на два внутренних диаметра вверх по потоку от любого нарушения потока. Поскольку объемный расход может изменяться в зависимости от значений фактической температуры и давления, было решено, что этот показатель также подлежит нормализации и приведению к общим эталонным условиям (273,15 К и 101,325 кПа). Отдельные предложенные спецификации и требования к точности приборов для измерения расхода были позаимствованы из ГТП № 15 ООН либо рекомендованы ЦГ2 и членами ПИЧ. Наконец, для элементов измерения расхода воздуха, в которых — для защиты устройства от загрязнения — используются воздушные фильтры, были предложены спецификации, регламентирующие их размещение на определенном

расстоянии. По мнению ряда заинтересованных сторон, использование этих фильтров может повлиять на точность измерения параметров воздушного потока; однако, как было указано экспертами ЦГ2, соблюдение установленных изготовителем спецификаций исключает такую возможность.

48. На рис. 14 представлен диапазон применявшихся испытательными станциями при испытании различных тормозов в ходе МЛИ значений расхода охлаждающего воздуха. Разброс применявшихся различными лабораториями показателей расхода довольно широк, однако большинство испытаний проводилось при расходе на уровне 500–1000 м³/ч. В целом было отмечено, что для целей испытания различных тормозов в весьма значительных колебаниях значений расхода нет необходимости. Полный диапазон использовавшихся показателей расхода воздуха в туннеле соответствовал скоростям воздуха от <5 км/ч до почти 45 км/ч. Прослеживалась увязка между крайне низкими скоростями и высокими фоновыми концентрациями (лаборатория Q), а также высокими потерями, особенно крупных частиц (лаборатория С). Поэтому было решено ограничить минимально допустимый рабочий расход воздуха в туннеле значением в 100 м³/ч, не допуская при этом внутренних диаметров воздуховода, превышающих 225 мм. Также были установлены спецификации, регламентирующие соотношение максимального и минимального рабочих расходов воздуха, с тем чтобы испытательная станция имела возможность правильно провести испытания различных тормозов и воспроизвести их температурные режимы. Если конкретнее, то максимальный рабочий расход должен не менее чем в 5 раз превышать минимальный рабочий расход и быть как минимум на 1000 м³/ч больше минимального рабочего расхода.

Рис. 14

Диапазон применявшихся испытательными станциями в ходе МЛИ значений расхода охлаждающего воздуха и скорости воздуха

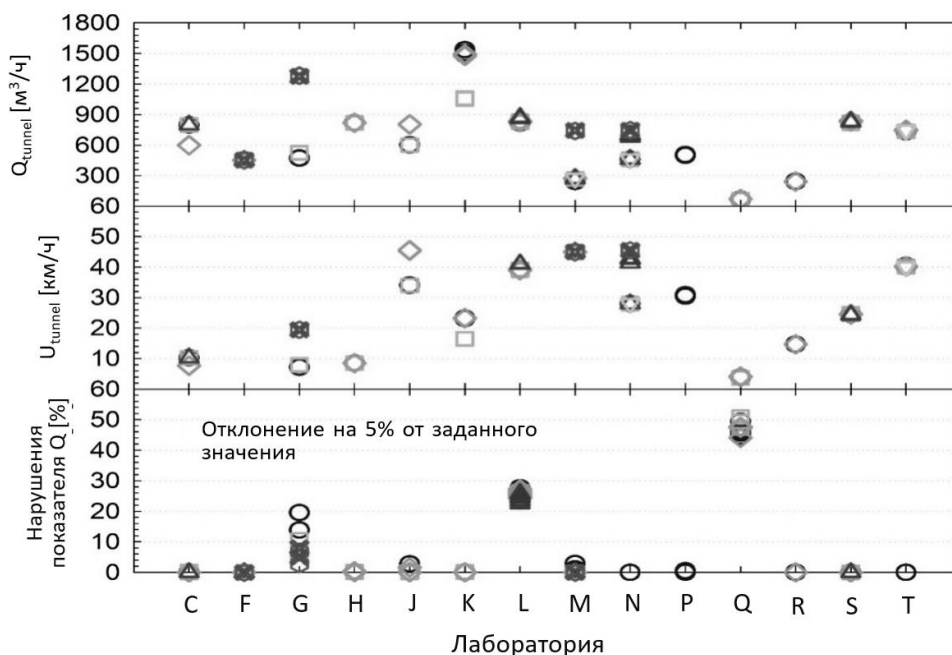
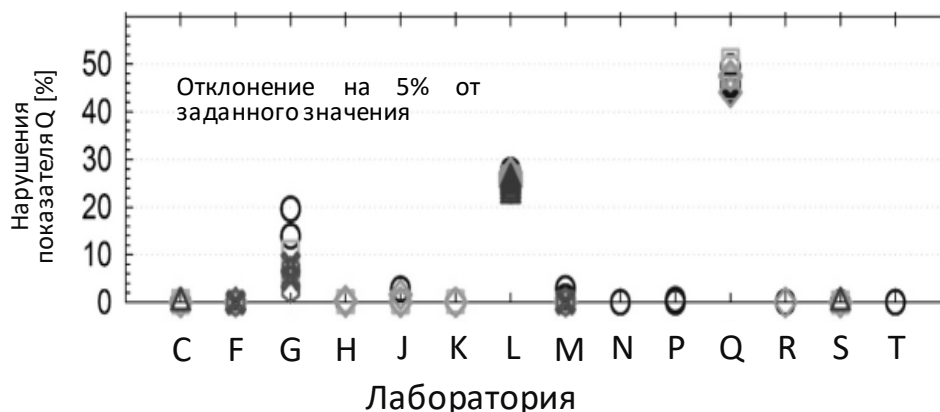


Рис. 15

Процентная доля зарегистрированных различными испытательными станциями в ходе МЛИ нарушений показателя расхода охлаждающего воздуха



49. На рис. 15 отражена процентная доля зарегистрированных различными испытательными станциями в ходе МЛИ нарушений показателей расхода охлаждающего воздуха. Эта доля была рассчитана с использованием снимаемых с частотой 1 Гц данных файлов с привязкой ко времени. Каждая секунда, когда расход воздуха отклонялся на $\pm 5\%$ от номинального значения, зачитывалась как нарушение. 10-процентное нарушение означает, что полученные испытательной станцией показатели отклонялись на $\pm 5\%$ от номинального расхода для 10% общей продолжительности цикла. Десять испытательных станций сообщили о доле нарушений, не превышающей 1,0%, причем в большинстве случаев она составляла 0,0% (56%). Лишь 3 испытательные станции сообщили о нарушениях, доля которых превышала допустимый максимум.

50. В таблице 6 приведен — на основе данных МЛИ — ряд теоретических примеров того, как колебание значений расхода воздуха может повлиять на изокинетический коэффициент при отборе проб. Отражены различные сценарии, предусматривающие широкий диапазон показателей расхода в туннеле (275–800 м³/ч) и при отборе проб (10–65 л/мин).

Таблица 6

Теоретические примеры того, как колебание значений расхода воздуха влияет на изокинетический коэффициент при отборе проб. Белыми графами обозначены фактические измерения. Серые графы указывают на теоретический сценарий

Лаборатория	Расход в туннеле (м ³ /ч)	Отклонение от номинального значения (%)	Расход пробы РМ (л/мин)	Изокинетический коэффициент (-)
Лаб.-С	800,0	–	65,0	1,11
Лаб.-С	760,0	–5 %	65,0	1,17
Лаб.-С	720,0	–10 %	65,0	1,24
Лаб.-С	840,0	+5 %	65,0	1,06
Лаб.-С	880,0	+10 %	65,0	1,01
Лаб.-G	474,0	–	33,4	1,05
Лаб.-G	450,3	–5 %	33,4	1,11
Лаб.-G	426,6	–10 %	33,4	1,17
Лаб.-G	497,7	+5 %	33,4	1,00

<i>Лаборатория</i>	<i>Расход в туннеле (м³/ч)</i>	<i>Отклонение от номинального значения (%)</i>	<i>Расход пробы РМ (л/мин)</i>	<i>Изокинетический коэффициент (–)</i>
Лаб.-G	521,4	+10 %	33,4	0,96
Лаб.-М	275,0	–	10,0	1,09
Лаб.-М	261,3	–5 %	10,0	1,15
Лаб.-М	247,5	–10 %	10,0	1,21
Лаб.-М	288,8	+5 %	10,0	1,04
Лаб.-М	302,5	+10 %	10,0	0,99

51. Как видно, потенциальные проблемы могут возникать при любых значениях расхода в туннеле, если отмечаются средние отклонения, превышающие 5 % от номинала. Например, в случае лаборатории С нарушение целевого изокинетического коэффициента 0,9–1,15 могло быть обусловлено всего лишь 5-процентным отклонением от номинального показателя расхода воздуха. В случае лабораторий G и M для нарушения целевого изокинетического коэффициента потребовались несколько более высокие средние отклонения. В любом случае, налицо необходимость ограничения нарушений как средних, так и мгновенных значений расхода в туннеле. По итогам проделанной испытательными станциями в ходе МЛИ работы можно заключить, что достижение этой двуединой цели возможно.

52. На основании данных, представленных в последних двух пунктах, было решено, что средний замеренный расход охлаждающего воздуха должен находиться в пределах $\pm 5\%$ от номинального значения на протяжении всего испытания на выбросы. Для сведения к минимуму колебаний изокинетического коэффициента также были установлены спецификации, регламентирующие мгновенный расход охлаждающего воздуха.

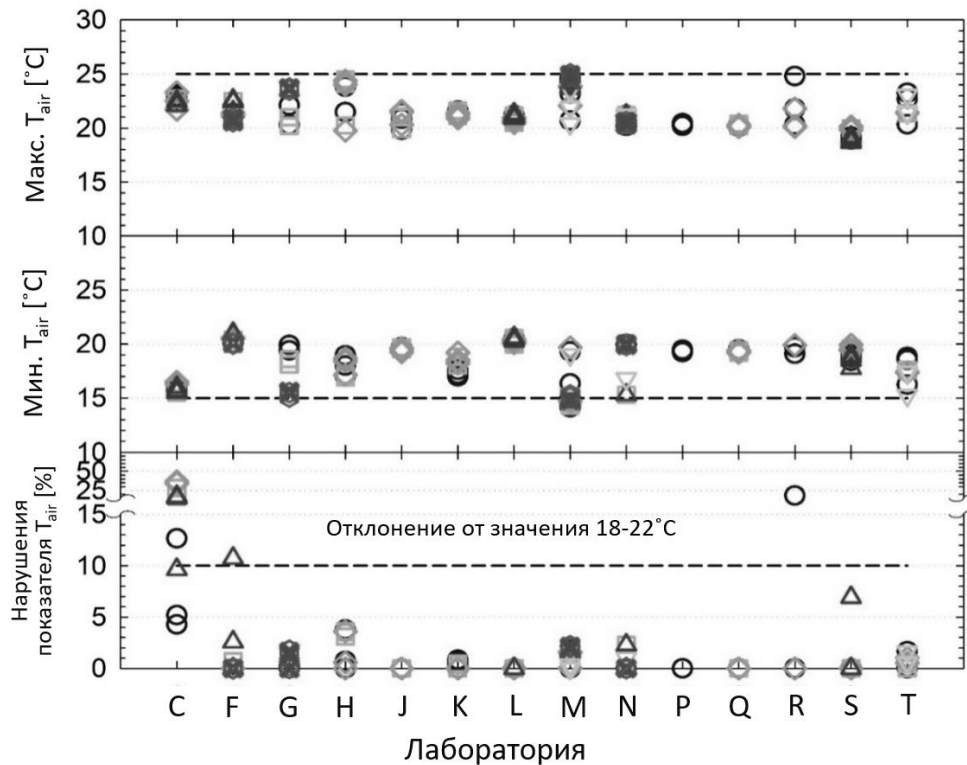
2. Кондиционирование потока охлаждающего воздуха

53. Согласно спецификациям ЦГ2, температура и относительная влажность подаваемого охлаждающего воздуха должны быть установлены на уровне 20 °C и 50 %, соответственно. Испытания на выбросы в ходе МЛИ считались зачетными, если средняя температура подаваемого охлаждающего воздуха находилась в пределах $\pm 2\text{ °C}$ от целевого значения (т. е. $20 \pm 2\text{ °C}$), а средняя относительная влажность отклонялась от целевого значения не более чем на $\pm 5\%$ (т. е., $50 \pm 5\%$). Также были определены положения, касающиеся мгновенных показателей температуры и относительной влажности.

54. На рис. 16 отражена процентная доля зарегистрированных различными испытательными станциями в ходе МЛИ нарушений показателя средней температуры. Также представлены диаграммы минимальных и максимальных мгновенных значений температуры.

Рис. 16

Процентная доля зарегистрированных различными испытательными станциями в ходе МЛИ нарушений показателя средней температуры. Также построены диаграммы минимальных и максимальных мгновенных значений температуры



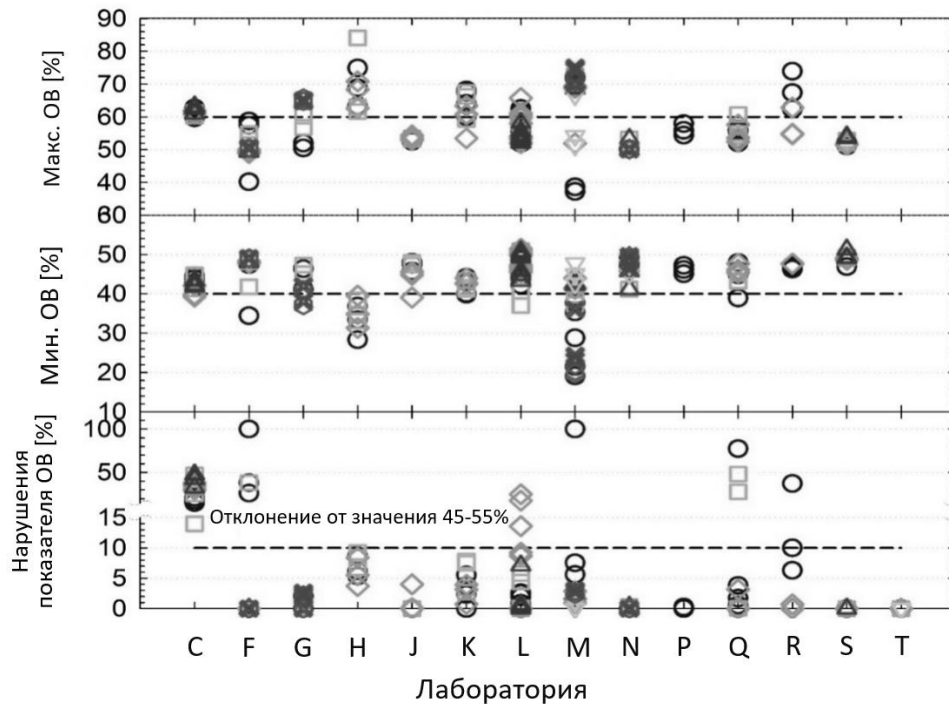
55. Процентная доля нарушений была рассчитана с использованием снимаемых с частотой 1 Гц данных файлов с привязкой ко времени. Каждая секунда, когда температура воздушного потока отклонялась на ± 2 °C от номинального значения, зачитывалась как нарушение. В общей сложности по 155 испытаниям было зарегистрировано 7 случаев несоответствия целевой средней температуре 20 ± 2 °C (4,5 %). Следует отметить, что данные лаборатории D не представлены на диаграмме, поскольку испытательная станция не имела возможности контролировать температуру и влажность охлаждающего воздуха. Что касается мгновенных показаний температуры, то по 155 испытаниям было зарегистрировано в общей сложности 20 случаев несоответствия целевой температуре 20 ± 5 °C на не более чем 10-процентном отрезке цикла испытания тормозов на основе ВПИМ (12,9 %).

56. На рис. 17 отражена процентная доля зарегистрированных различными испытательными станциями в ходе МЛИ нарушений показателя средней относительной влажности. Также представлены диаграммы минимальных и максимальных мгновенных показателей относительной влажности. Процентная доля нарушений была рассчитана с использованием снимаемых с частотой 1 Гц данных файлов с привязкой ко времени. Каждая секунда, когда влажность воздушного потока отклонялась на ± 5 % от номинального значения, зачитывалась как нарушение. В общей сложности по 155 испытаниям было зарегистрировано 9 случаев несоответствия целевой средней относительной влажности 50 ± 5 % (5,8 %). 118 испытаний были проведены со средним отклонением показателя относительной влажности, не превышающим 1 % (76,1 %). Данные лаборатории D не представлены на диаграмме, поскольку испытательная станция не имела возможности контролировать температуру и влажность охлаждающего воздуха. Что касается мгновенных показаний относительной влажности, то по 155 испытаниям было зарегистрировано в общей сложности 30 случаев несоответствия целевой относительной влажности 50 ± 5 % на не более чем 10-процентном отрезке цикла

испытания тормозов на основе ВПИМ (19,4 %). 66 испытаний были проведены с отклонением мгновенных показаний относительной влажности, не превышающим 1 % (42,6 %). Следует отметить, что лаборатория С сообщила о проблеме с контролем климатических условий, ставшей причиной 12 случаев несоответствия.

Рис. 17

Процентная доля зарегистрированных различными испытательными станциями в ходе МЛИ нарушений показателя средней относительной влажности. Также построены диаграммы минимальных и максимальных мгновенных показателей относительной влажности



57. На основании представленных данных было решено придерживаться в отношении как средних, так и мгновенных значений температуры охлаждающего воздуха тех же требований (20 ± 2 °C и 20 ± 5 °C на не более чем 10-процентном отрезке испытания). Однако рядом участников было предложено скорректировать температуру потока охлаждающего воздуха до 23 °C (вместо 20 °C) в порядке обеспечения соответствия условиям испытания транспортных средств, определенным в ГТП № 15 ООН. Таким образом, согласованные значения составляют 23 ± 2 °C для средней температуры и 23 ± 5 °C на не более чем 10-процентном отрезке испытания — для мгновенной температуры. Что касается относительной влажности охлаждающего воздуха, было решено придерживаться в отношении средних показателей тех же требований (50 ± 5 %) и скорректировать мгновенные показания до 50 ± 30 % на не более чем 10-процентном отрезке испытания. Помимо соблюдения спецификаций, регламентирующих относительную влажность, испытательная станция должна обеспечивать поддержание средней абсолютной влажности охлаждающего воздуха в пределах от 6 до 11 гH₂O/кг сухого воздуха в течение всего испытания тормозных механизмов на выбросы.

3. Очистка охлаждающего воздуха

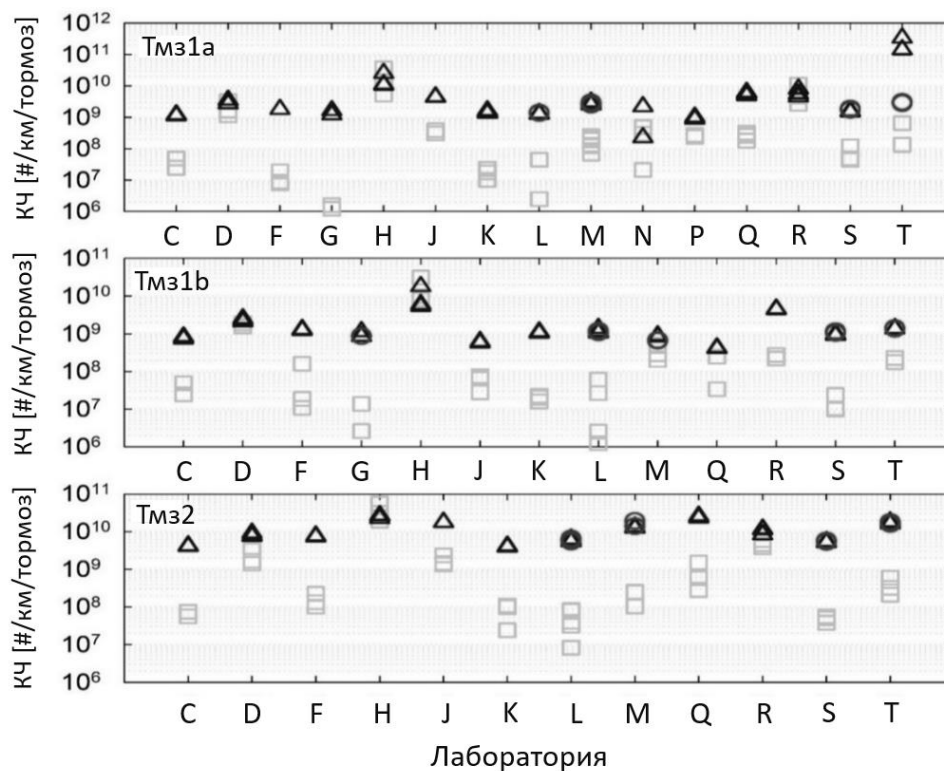
58. Охлаждающий воздух, поступающий в испытательную систему, пропускают через соответствующую среду, позволяющую снизить количество частиц наиболее проникающего размера в материале фильтра не менее чем на 99,95 %, или через соответствующий фильтр, относящийся по крайней мере к классу H13 согласно стандарту EN 1822. Любой другой тип фильтра, применяемый для удаления летучих органических веществ (древесный уголь, активированный уголь или эквивалентный материал), устанавливают перед фильтром H13 (или эквивалентным фильтром).

59. В ходе МЛИ было предложено определять фоновую концентрацию на двух уровнях. Первый уровень касается проверки фона на уровне системы при установке оборудования (или при наличии признаков неисправности системы) и реализуется без тормозного механизма или тормозного устройства. Второй уровень касается регулярных проверок фона до и после проведения испытания тормозов на выбросы при расходе воздуха, выставленном на значение, предусмотренное для данного испытания на выбросы. Из 16 испытательных станций 10 успешно завершили проверку фона на уровне системы (63 %). С другой стороны, в рамках 222 завершенных испытаний на выбросы были выполнены 173 регулярные проверки фона (78 %).

60. Фоновую концентрацию определяют по показателю КЧ (для обозначения количества частиц используется символ #). Фоновые концентрации КЧ измеряются в ($\#/см^3$) и выражаются в ($\#/км$) с целью отразить изменения в показателе расхода охлаждающего воздуха при испытании различных тормозов. В ходе межлабораторного исследования предельное значение фоновой концентрации не оговаривалось; однако было решено определить его по завершении МЛИ. На рис. 18 отражены значения концентрации КЧ (темные значки) и фоновой концентрации КЧ (серые значки), зарегистрированные испытательными станциями на Тм31а, Тм31b и Тм32 в ходе МЛИ. Как отмечается, фоновые концентрации КЧ в туннеле были по крайней мере на порядок ниже средних значений концентрации за цикл. Вместе с тем, лабораториями D, H и R было сообщено о фоновых уровнях, аналогичных замеренным уровням выбросов; поэтому полученные этими конкретными лабораториями результирующие показатели КЧ не могут считаться достоверными и надежными.

Рис. 18

Значения концентрации КЧ (темные значки) и фоновой концентрации КЧ (серые значки), зарегистрированные испытательными станциями на Тм31а, Тм31b и Тм32 в ходе МЛИ



61. В таблице 7 приведен — на основе данных МЛИ — ряд теоретических примеров того, как фоновая концентрация может повлиять на измерения концентрации КЧ. Представлены различные сценарии с использованием различных значений расхода в туннеле (250–850 м³/ч). Как видно, потенциальные проблемы (т. е. фоновые уровни >5E+08 #/км) могут возникать при любых значениях расхода в туннеле, если фоновая концентрация превышает 10 #/см³. Также можно отметить, что с увеличением расхода воздуха в туннеле наблюдается увеличение фоновой концентрации с точки зрения количества частиц на пройденное расстояние. В итоге было решено, что средняя фоновая концентрация в туннеле не должна превышать максимальный предел в 20 #/см³ для каждой пробы на общее КЧ (ОКЧ10) и количество твердых частиц (КТЧ10). Предел в 20 #/см³ был определен в том числе с учетом характеристик устройств измерения КЧ. Предельное значение 20 #/см³ применяется к фоновой концентрации как на уровне системы, так и на уровне испытания. Измерения проводят с использованием насадок любого диаметра, поскольку изокинетический отбор проб и сведение к минимуму более крупных потерь тонкодисперсных частиц актуальны только при испытании на выбросы при торможении, но не во время измерения фона. Наконец, было решено не прибегать при регистрации фактических значений концентрации ОКЧ10 и КТЧ10 к использованию каких-либо вычетов/корректировок.

Таблица 7

Теоретические примеры, показывающие влияние фоновой концентрации на измерения концентрации КЧ. Белые графы указывают на низкий и, следовательно, приемлемый фоновый уровень. Серые графы указывают на высокий и, следовательно, неприемлемый фоновый уровень

Лаборатория	Расход в туннеле (м ³ /ч)	Фоновая концентрация (#/см ³)	Фоновые уровни (#/км)
Лаб.-X	250	10	5,7E+07
Лаб.-X	250	50	2,9E+08
Лаб.-X	250	100	5,7E+08
Лаб.-Y	550	10	1,3E+08
Лаб.-Y	550	50	6,3E+08
Лаб.-Y	550	100	1,3E+09
Лаб.-Z	850	10	1,9E+08
Лаб.-Z	850	50	9,7E+08
Лаб.-Z	850	100	1,9E+09

62. В таблице 8 кратко изложены определенные в ГТП ООН требования к температуре, влажности и расходу охлаждающего воздуха.

Таблица 8

Краткое изложение определенных в ГТП ООН требований к температуре, влажности и расходу охлаждающего воздуха

Параметр	Температура охлаждающего воздуха	Относительная влажность охлаждающего воздуха	Расход охлаждающего воздуха
Номинальное значение	23 °C	50 %	Заданное значение (Q _{set}) согласно пункту 10
Среднее значение: максимальный разрешенный допуск	±2 °C	±5 %	±5 % от Q _{set}
Мгновенные значения (1 Гц): максимальный разрешенный допуск	±5 °C	± 30%	±5 % от Q _{set}

<i>Параметр</i>	<i>Температура охлаждающего воздуха</i>	<i>Относительная влажность охлаждающего воздуха</i>	<i>Расход охлаждающего воздуха</i>
Мгновенные значения (1 Гц): допустимое отклонение от максимального разрешенного допуска	Не определены	Не определены	$\pm 10\%$ от Q_{set}
Мгновенные значения (1 Гц): максимальное время, превышающее максимально разрешенный допуск	10 % от продолжительности каждого этапа испытания	10 % от продолжительности каждого этапа испытания	5 % от продолжительности каждого этапа испытания

D. Этап регулировки охлаждения

63. Измерения выбросов проводились испытательными станциями на динамометрических стендах с различными конструктивными характеристиками. До опубликования документа GRPE-81-12 не существовало общепринятого метода регулировки параметров потока подаваемого охлаждающего воздуха. Как следствие, наблюдались существенные различия в температурных режимах, применявшихся испытательными станциями при одинаковых операциях с задействованием тормоза. В таблице 9 представлены предлагаемые целевые параметры, определенные в документе GRPE-81-12 и призванные преодолеть данную проблему. С целью выведения этих предложенных значений были проведены испытания на 7 транспортных средствах с выполнением на испытательном треке прогона #10, предусмотренного циклом испытаний тормозных механизмов на основе ВПИМ. Более подробную информацию о первоначальном предложении можно почерпнуть в справочном материале [6].

64. В основу изложенного в документе GRPE-81-12 метода регулировки охлаждения легли практические данные, полученные для реальных транспортных средств, испытанных по циклу испытаний тормозных механизмов на основе ВПИМ. Как показали лабораторные данные, типовой поток воздуха не позволяет обеспечить реалистичные температурные режимы применительно ко всем операциям с задействованием тормоза. Именно поэтому ЦГ1 предложила и утвердила различные группы по соотношению номинальной нагрузки на колесо и массы диска (WL_{n-f}/DM) (согласно предложению представителей отрасли), а также конкретизировала целевые значения температуры для каждой группы с обязательным небольшим допуском в порядке учета различий в конструкции и свойствах, равно как фактора неопределенности. В рамках GRPE-81-12 на вооружение был взят аналогичный подход, получивший дальнейшее развитие и уточненный с учетом новых экспериментальных данных, представленных по линии ЦГ и ПИЧ. Любой шаг в направлении упрощения — для отражения в будущих версиях ГТП ООН — подлежит апробированию, проверке и подтверждению с использованием надежных экспериментальных данных.

Таблица 9

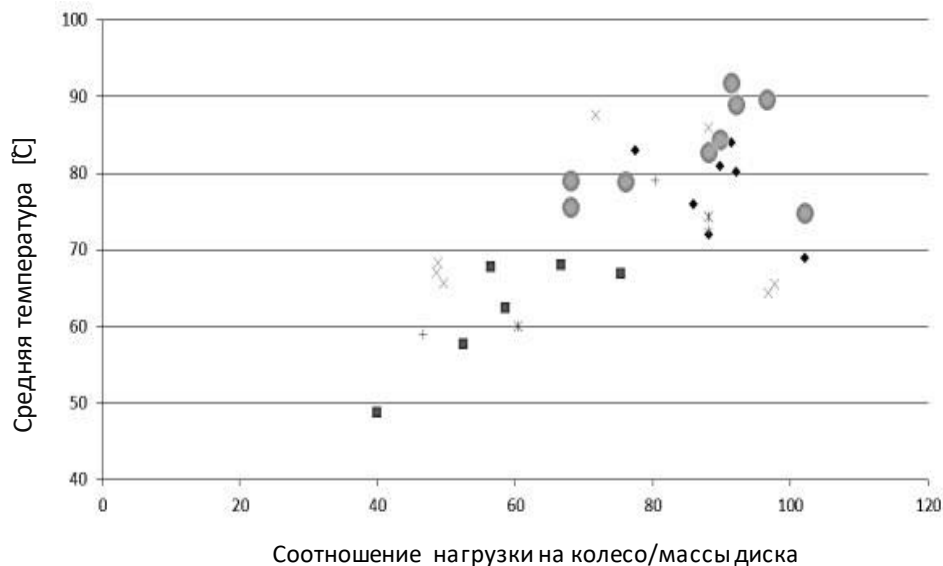
Предельные температуры по умолчанию для тормозных дисков и тормозных барабанов во время прогона #10 согласно документу GRPE-81-12

<i>Ось [-]</i>	<i>Тип диска [-]</i>	<i>Средняя температура [°C]</i>	<i>Среднее по 5 % макс. значений НТТ [°C]</i>	<i>Среднее по 5 % макс. значений КТТ [°C]</i>	<i>Максимальная температура [°C]</i>
Передняя	Вентилируемый	85	85	135	170
Задняя	Вентилируемый	65	65	95	115
Задняя	Цельный	80	85	135	180
Допуск		± 10	± 15	± 25	± 25

65. На рис. 19 прослеживается четкая тенденция к снижению средней температуры тормоза при уменьшении соотношения WL_{n-f}/DM . Аналогичные тенденции наблюдались и для трех других параметров, фигурирующих в документе GRPE-81-12 (а именно, среднее по 5 % максимальных значений начальной температуры тормоза, среднее по 5 % максимальных значений конечной температуры тормоза и максимальная температура тормоза). Эти тенденции были отмечены и наглядно продемонстрированы при испытаниях на тормозном динамометре, а не в ходе полигонных или дорожных испытаний автомобилей. Был сделан вывод, что предложенный протокол ПИЧ, по-видимому, неприменим, ибо им охватывается весь диапазон операций с задействованием тормоза, и требуется дифференцирование целевых температур на основе соотношения WL_{n-f}/DM .

Рис. 19

Средние значения температуры тормоза во время прогона #10 в ходе цикла испытания тормозных механизмов на основе ВПИМ для различных тормозов в зависимости от соотношения WL_{n-f}/DM . На диаграмме представлены данные шести лабораторий. В случае данных по транспортным средствам (серые кружки) показаны полигонные значения



66. Были рассмотрены три возможных пути преодоления этой проблемы. Первый вариант заключался в сохранении метода, оговоренного в документе GRPE-81-12, с внесением в него ряда незначительных изменений, а именно: i) исключение указания пиковой температуры, поскольку этот параметр представляется не столь легко воспроизводимым; и ii) еще большее уменьшение существующих пороговых значений для трех других параметров. Этот вариант был отклонен как позволяющий испытательным станциям проводить испытания тормозов на выбросы применительно к весьма широкому кругу операций торможения в более холодных и даже гораздо более холодных условиях, что пагубно сказалось бы на результатах измерения РМ и КЧ и допускало бы существенный разброс значений между лабораториями. Второй вариант заключался в изменении концепции за счет: i) установления минимально допустимой средней температуры для обеспечения того, чтобы лаборатории не осуществляли прогон в условиях слишком низкой температуры; и ii) определения — на основе данных по транспортному средству и по аналогии с первоначальным предложением — начальной температуры тормоза (НТТ) и конечной температуры тормоза (КТТ). Этот вариант был отклонен, поскольку при сохранении значения пиковой температуры едва ли удастся обеспечить надлежащее снятие параметров выбросов от работы низкокачественных тормозов. Третий вариант, на котором и был остановлен выбор, заключался в сохранении базовой концепции, но определении применительно к параметрам пороговых значений на основе четырех различных

соотношений WL_{n-f}/DM . Кроме того, было предложено исключить из числа целевых параметров пиковую температуру.

67. В итоге применительно к НТТ и КТТ были определены четыре различные целевые температуры, соответствующие различным классам по критерию WL_{n-f}/DM . Эти целевые значения были скорректированы с учетом имеющихся данных по транспортным средствам и динамометрическим стендам. Кроме того, во избежание проведения станциями испытаний при пониженных температурах были определены нижние пороговые значения для средней температуры. Пиковая температура была исключена из числа целевых параметров как не поддающаяся измерению повторяемым и воспроизводимым образом. В таблице 10 отражены параметры, составляющие суть предложения, реализованного в ходе МЛИ, а на рис. 20 представлены данные, обосновывающие это предложение.

Таблица 10

Температурные показатели и предельные значения температуры для тормозов во время прогона #10 в ходе цикла испытания тормозных механизмов на основе ВПИМ

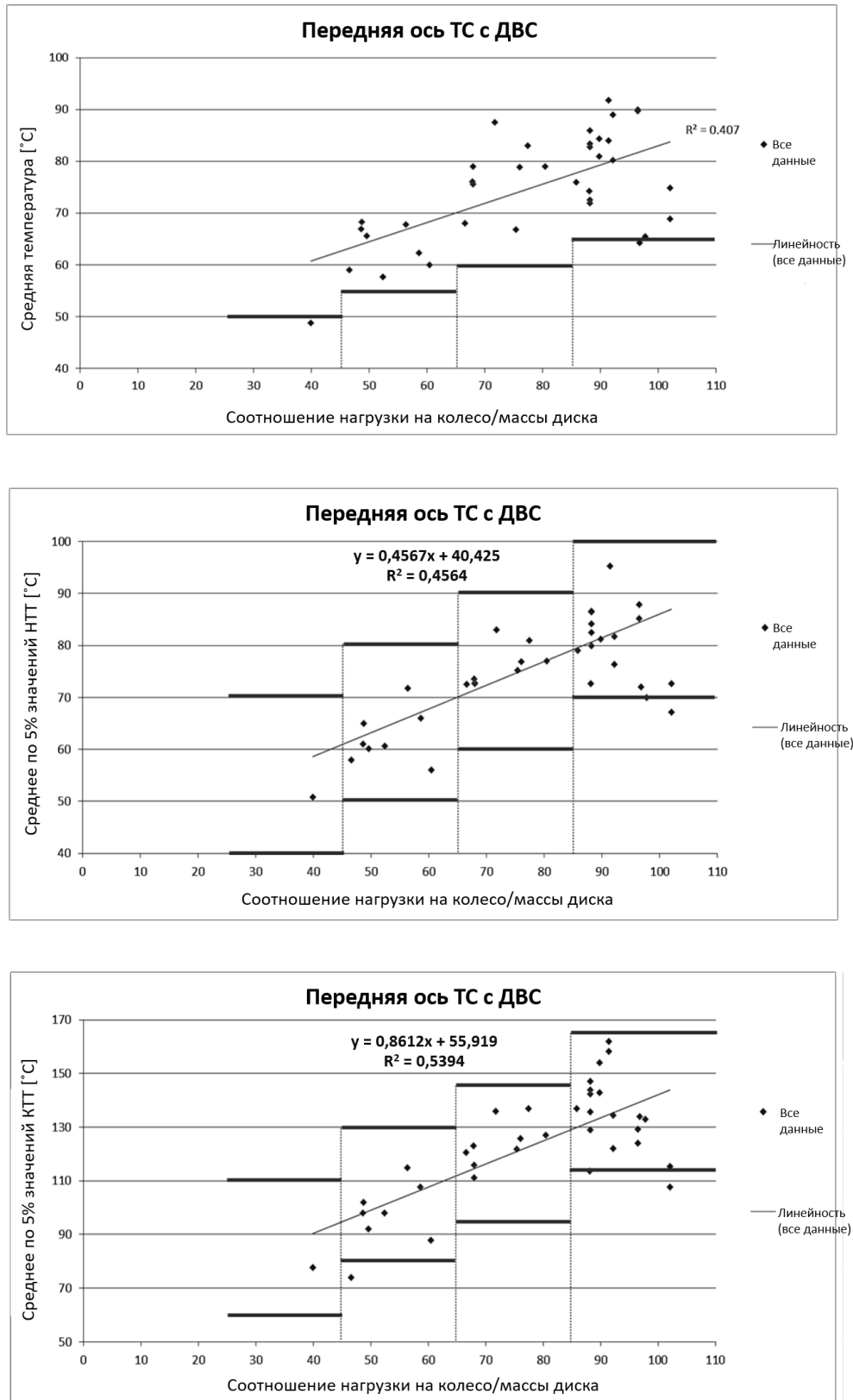
WL_{n-f}/DM	Средняя температура [°C]	Среднее по 5 % макс. значений НТТ [°C]	Среднее по 5 % макс. значений КТТ [°C]
≤ 45	> 50 °C	55 ± 15 °C	85 ± 25 °C
>45 и ≤ 65	> 55 °C	65 ± 15 °C	105 ± 25 °C
>65 и ≤ 85	> 60 °C	75 ± 15 °C	120 ± 25 °C
> 85	> 65 °C	85 ± 15 °C	140 ± 25 °C

68. Согласно предложенному методу, который применялся в рамках МЛИ, для определения соответствующего расхода охлаждающего воздуха для испытуемого тормоза испытательная станция сначала относит тормоз к соответствующей группе по соотношению WL_{n-f}/DM . «Номинальная нагрузка на колесо» определяется в ГТП ООН исходя их характеристик транспортных средств как категории M1, так и категории N1. «Номинальная нагрузка на колесо» отличается от «фактической нагрузки на колесо», значение которой меньше на 13 % и которая применяется при испытании на выбросы. На основе соотношения WL_{n-f}/DM были выделены следующие четыре различные группы: группа 1: $WL_{n-f}/DM \leq 45$; группа 2: $WL_{n-f}/DM > 45$ и ≤ 65 ; группа 3: $WL_{n-f}/DM > 65$ & ≤ 85 ; и группа 4: $WL_{n-f}/DM > 85$.

69. После отнесения тормоза к группе WL_{n-f}/DM испытательная станция выполняет прогон #10 в рамках цикла испытания тормозных механизмов на основе ВПИМ с новыми деталями тормоза с целью получить целевые значения параметров температуры и сопоставить их с предельными значениями по таблице 10. В качестве эталона, с которым сопоставляются результаты проверки регулировки охлаждения, используются следующие целевые параметры: i) средняя температура тормозов во время всего прогона #10 в рамках цикла испытаний тормозных механизмов на основе ВПИМ; ii) средняя НТТ в ходе событий торможения #46, #101, #102, #103, #104 и #106 во время прогона #10 в рамках цикла испытаний тормозных механизмов на основе ВПИМ; и iii) средняя КТТ в ходе событий #46, #101, #102, #103, #104 и #106 во время прогона #10 в рамках цикла испытаний тормозных механизмов на основе ВПИМ. Для успешного проведения регулировки скорости охлаждающего воздуха должны быть выполнены все три критерия.

Рис. 20

Параметры температуры во время прогона #10 для различных тормозов в зависимости от соотношения WL_{n-f}/DM . На диаграмме представлены данные шести лабораторий



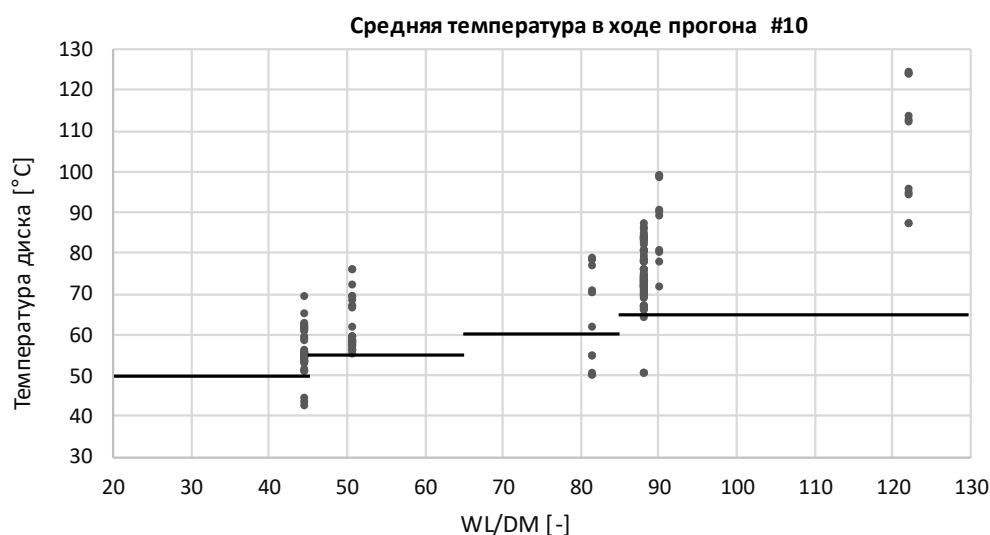
70. Как явствует из данных МЛИ (перепроверенных путем замеров температуры при прогоне #10 цикла испытаний тормозных механизмов на основе ВПИМ во время измерения выбросов — фактические данные по регулировке охлаждения отсутствовали), спецификации, регламентирующие среднюю температуру во время прогона #10, были успешно применены (рис. 21 — верхняя диаграмма). Например, по итогам 93 завершенных испытаний с измерение выбросов для эталонного тормоза (Тмз1а) были зарегистрированы лишь 5 «несоответствий» минимальному целевому значению средней температуры. Аналогичным образом, по итогам 40 завершенных испытаний с измерение выбросов на Тмз2 было отмечено 3 случая «несоответствия».

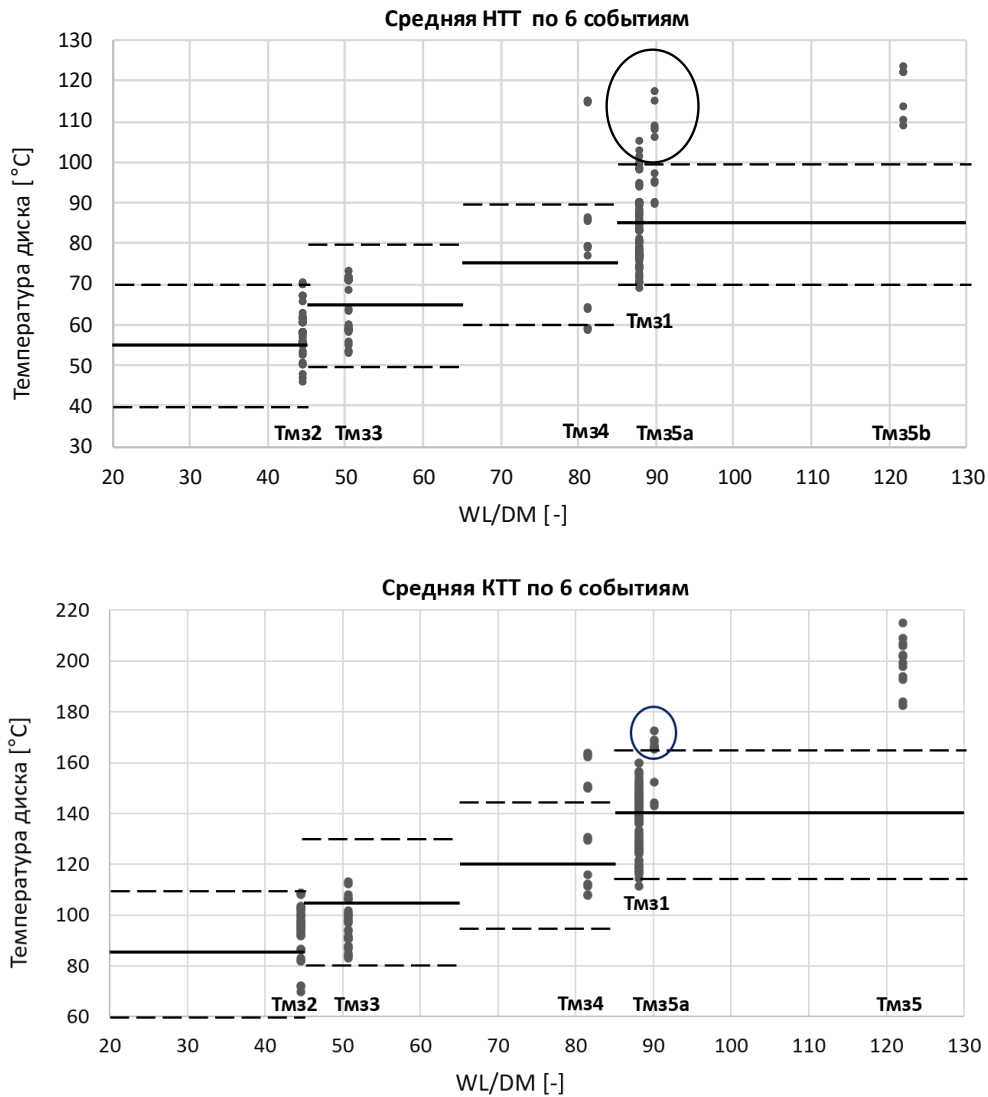
71. Что касается средней НТТ (рис. 21 — средняя диаграмма), то в ходе МЛИ установленные спецификации в целом также успешно соблюдались. Отдельные случаи несоответствия верхнему пороговому значению наблюдались для группы 4 ($WL_{n-f}/DM > 85$), что было должно образом учтено в скорректированном окончательном предложении. Например, по итогам 108 завершенных испытаний с измерение выбросов для эталонного тормоза были зарегистрированы лишь 4 «несоответствия» максимальным целевым средним значениям НТТ. Аналогичным образом, по итогам 43 завершенных испытаний с измерение выбросов для Тмз2 был отмечен только 1 случай «несоответствия» максимальному целевому среднему значению НТТ, тогда как для Тмз5а число «несоответствий» по 12 полностью завершенным циклам изменения составило 6.

72. Наконец, что касается средней КТТ (рис. 21 — нижняя диаграмма), то и здесь в ходе МЛИ установленные спецификации в целом также успешно соблюдались. Отдельные случаи несоответствия верхнему пороговому значению наблюдались для группы 4 ($WL_{n-f}/DM > 85$), что было должно образом учтено в окончательном предложении. Например, по итогам 108 завершенных испытаний с измерение выбросов для эталонного тормоза были зарегистрированы лишь 2 «несоответствия» максимальному целевому значению средней температуры, тогда как для Тмз5а число «несоответствий» по 12 полностью завершенным циклам изменения составило 8. В случае Тмз2 и Тмз3 отмечалось нулевое «несоответствие» целевым значениям.

Рис. 21

Параметры температуры во время прогона #10 для различных тормозов, испытанных в ходе МЛИ, в зависимости от соотношения WL_{n-f}/DM





73. По итогам анализа полученных в ходе МЛИ результатов ЦГ2 решила устранить проблемы, оговоренные выше, путем корректировки целевых средних значений НТТ и КТТ. Как следствие, было предложено увеличить средние целевые значения НТТ и КТТ на 5 °C и дополнительно снизить на 10 °C максимально допустимые отклонения. Это позволит — при сохранении минимально допустимых значений НТТ и КТТ на том же уровне — проводить испытания в немного более жарких условиях. Для учета измененной в сторону повышения (с 20 °C до 23 °C) температуры потока охлаждающего воздуха также была произведена дополнительная корректировка за счет увеличения средних целевых значений НТТ и КТТ еще на 5 °C. Полная целесообразность такого увеличения подкрепляется данными, фигурирующими в справочном материале [7]. В таблице 11 отражены параметры, составляющие суть окончательного предложения, нашедшего отражение в ГТП ООН.

Таблица 11

Температурные показатели и предельные значения температуры для тормозов во время прогона #10 в ходе цикла испытания тормозных механизмов на основе ВПИМ, приведенные в ГТП ООН

WL_{n-f}/DM	Средняя температура [°C]	Среднее по 5 % макс. значений НТТ [°C]	Среднее по 5 % макс. значений КТТ [°C]
≤ 45	≥ 50 °C	65 ±25 °C	95 ±35 °C
>45 и ≤ 65	≥ 55 °C	75 ±25 °C	115 ±35 °C
>65 и ≤ 85	≥ 60 °C	85 ±25 °C	130 ±35 °C
> 85	≥ 65 °C	95 ±25 °C	150 ±35 °C

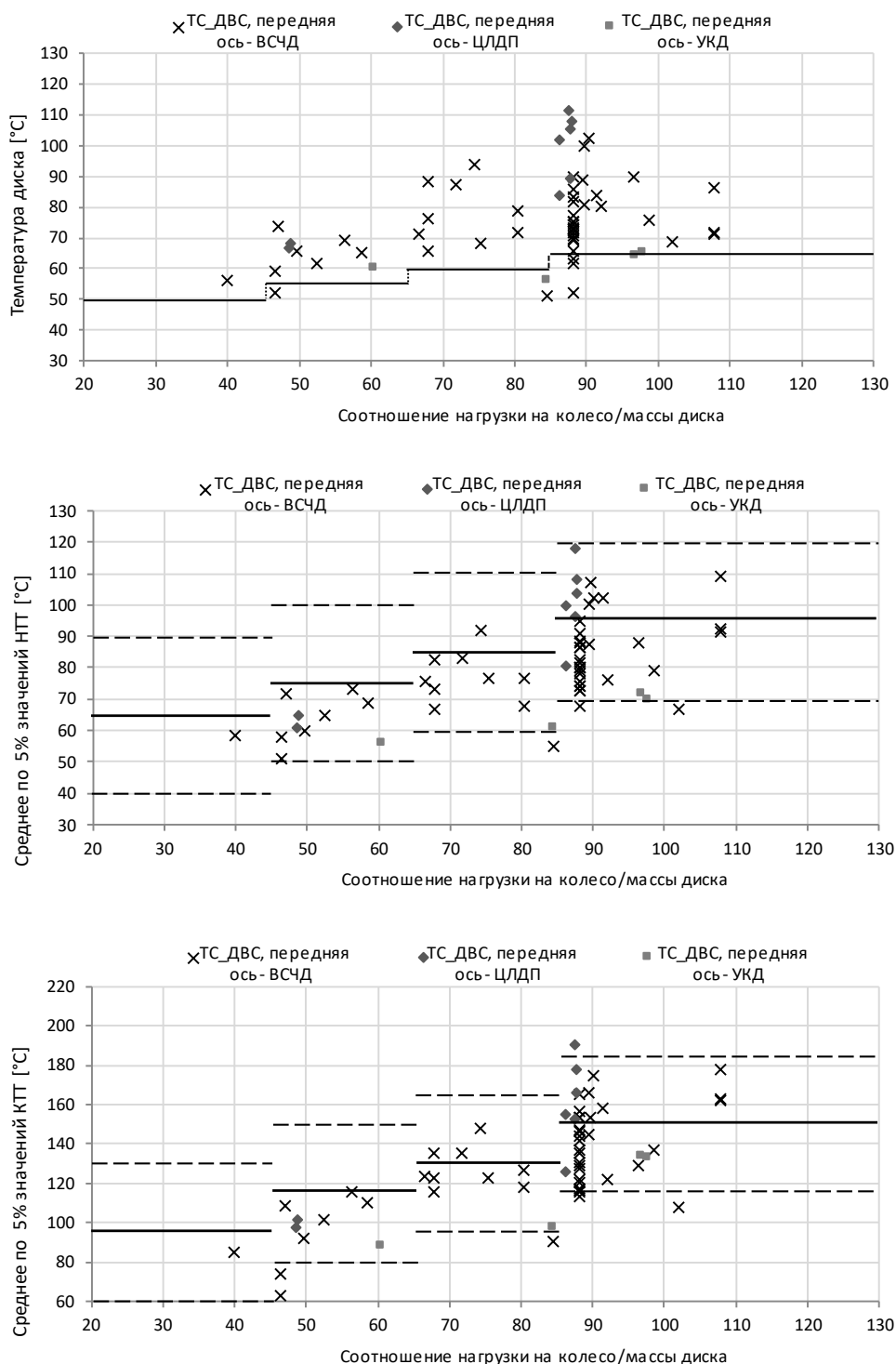
74. Как видно из данных МЛИ, в плане температурного воздействия на Тмз1 (если сравнивать Тмз1а с Тмз1б) колодки БАО и колодки по стандарту ЕЭК практически не различаются. Если конкретнее, средняя температуры тормозов Тмз1а и Тмз1б во время прогона #10 в ходе цикла испытания тормозных механизмов на основе ВПИМ составляла 72,4 °C и 76,1 °C, соответственно. Средняя НТТ для тормозов Тмз1а и Тмз1б составляла 82,0 °C и 84,8 °C, соответственно. Наконец, средняя КТТ составляла для тормозов Тмз1а и Тмз1б 136,8 °C и 136,5 °C, соответственно. Поэтому, как представляется, во включении конкретных положений, касающихся различных материалов колодок, — учитывая гибкость метода и предлагаемый довольно широкий разбег пороговых значений температуры для НТТ и КТТ — нет необходимости.

75. При разработке метода регулировки охлаждающего воздуха за основу были взяты главным образом данные, полученные для обычных систем передних тормозов (вентилируемые серочугунные диски — ВСЧД). Было рекомендовано применять этот метод и к другим представленным на рынке типам дисков (например, цельнолитые серочугунные диски с покрытием (ЦЛДП), углеродно-керамические диски (УКД) и проч.). В сущности, в процессе разработки метода также учитывались отдельные элементы данных по другим материалам тормозных дисков. На рис. 22 отражены соответствующие данные, послужившие обоснованием при формулировании этого предложения (см. рис. 20), но в разбивке по различным типам подвергнутых испытанию дисков и с корректировкой нижнего и верхнего пороговых значений температуры под окончательное предложение. Рядом участников были высказаны оговорки относительно регулировки охлаждения дисков с покрытием, углеродно-керамических дисков и дисков из легких материалов (например, алюминиевых). Имеются веские доказательства того, что в первую очередь КТТ при использовании этих дисков может быть ниже по сравнению с аналогичным параметром для обычных литых чугунных дисков [8]. Целевые значения применительно к этим типам дисков могут быть пересмотрены в рамках следующей поправки к ГТП ООН, когда появится больше новых данных.

76. В основу метода регулировки охлаждения положено испытание тормоза на передней оси с соблюдением предписанной протоколом процедуры. Регулировку охлаждения систем заднего тормоза было рекомендовано выполнять с использованием показателя расхода охлаждающего воздуха, полученного для соответствующего переднего тормоза (т. е. исходя из данных по одному транспортному средству). Это было предложено прежде всего по соображениям согласования и упрощения. На настоящий момент по линии ПИЧ не имеется достаточных данных для определения применительно к задним тормозам соответствующих классов по соотношению WL_{n-f}/DM . Если в будущем это произойдет, а участники ПИЧ усмотрят такую необходимость, то можно будет предложить поправку к протоколу. Всеми испытательными станциями сначала проводится испытание передних тормозов; поэтому показатель расхода охлаждающего воздуха будет уже известен, так что какого-либо дополнительного бременя, связанного с проведением испытаний, не возникнет. Учитывая же, что задние тормоза испытываются при гораздо меньшей нагрузке, использование значения расхода, полученного для переднего тормоза, едва ли приведет к существенным расхождениям по температуре.

Рис. 22

Параметры температуры во время прогона #10 для различных тормозов в зависимости от соотношения WL_{n-f}/DM . Пороговые значения температуры (показаны линиями) соответствуют предложению по ГТП ООН

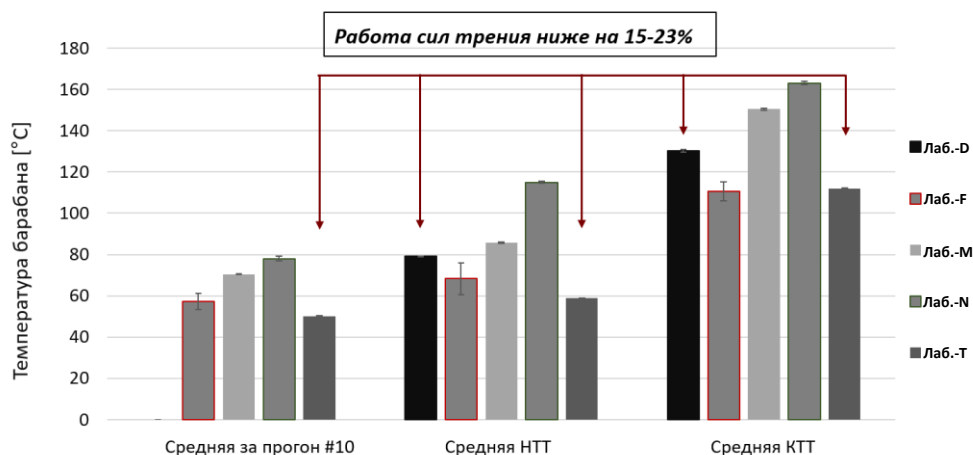


77. Предложенный метод был апробирован в ходе МЛИ (Тмз4 — барабанный тормоз). Из данных МЛИ не явствует, что использование значения расхода охлаждающего воздуха, полученного для соответствующего переднего тормоза, негативно отражается на параметрах выбросов или температуры барабанного тормоза. На рис. 23 отражены целевые значения температуры, зарегистрированные испытательными станциями в ходе МЛИ. Некоторые расхождения обусловлены неправильным выполнением цикла испытаний тормозных механизмов на основе

ВПИМ (работа с пониженным коэффициентом трения). После получения дополнительных данных целевые значения для задних тормозов могут быть пересмотрены. В целом видно, что — за вычетом незачетных испытаний (т. е. испытаний при работе с пониженным коэффициентом трения) — расхождения между станциями по целевым параметрам не выходят за рамки приемлемых пределов.

Рис. 23

Значения температуры барабана, зарегистрированные различными лабораториями в ходе МЛИ. Некоторые испытания были проведены неправильно при меньшей суммарной работе сил трения



Е. Этап приработки

78. Процедура приработки нужна для целей предварительного кондиционирования тормозного механизма в сборе и стабилизации его работы в части выбросов до проведения испытания с их измерением. С одной стороны, для обеспечения стабилизации параметров выбросов при работе фрикционного тормозного механизма процедура приработки должна быть достаточно длительной. С другой стороны, необходимо найти компромисс в плане продолжительности приработки, с тем чтобы общее время проведения испытания не превышало разумных рамок.

79. В ходе МЛИ испытательным станциям было предложено выполнить для целей приработки испытуемых тормозов 5 циклов испытания тормозных механизмов на основе ВПИМ. Испытательным станциям было предписано не проводить этапов выдерживания между отдельными прогонами. Каждый из 5 циклов испытания тормозов на основе ВПИМ надлежало начинать при температуре 40 °С (самый же первый цикл — при температуре окружающей среды). Было рекомендовано регистрировать в процессе приработки содержание КЧ в выбросах, но не использовать полученные значения для расчета выбросов, поскольку не исключена возможность искусственного увеличения концентрации. Лабораториям было предложено провести дополнительную серию испытаний по намеченной программе для сопоставления процедуры приработки тормозов методом осуществления десяти прогонов #10 цикла испытаний тормозов на основе ВПИМ со стандартным методом. Ввиду полного отсутствия соответствующих данных было решено, что количество циклов испытаний тормозов на основе ВПИМ, необходимых для надлежащей приработки барабанных тормозов, подлежит обсуждению и согласованию уже после МЛИ.

1. Дисковые тормоза

80. В общей сложности всеми испытательными станциями с использованием всех тормозов были выполнены 174 стандартных цикла испытаний на выбросы при торможении на основе ВПИМ. Это соответствует 277 циклам испытания тормозов по ВПИМ до полной приработки. Кроме того, в случае Тм31, Тм32 и Тм33 были выполнены 16 циклов испытаний на выбросы при торможении на основе ВПИМ с

альтернативной процедурой приработки, что означает 60 прогонов #10 до полной приработки. Некоторые испытательные станции столкнулись с затруднениями в плане успешного завершения процедуры приработки (12 % всех испытаний на выбросы), тогда как в большинстве случаев осознание испытательными станциями имеющихся проблем произошло уже после регистрации данных по приработке. В таблице 12 представлены данные по средней температуре для Тмз1а. В целом видно, что при переходе от циклов приработки к циклам измерения выбросов средняя температура в рамках цикла испытаний тормозов на основе ВПИМ снижается в среднем на 5–10 °С. Средняя температура тормозов в ходе 5 циклов испытаний тормозов по ВПИМ с приработкой приближается к 75 °С, между тем как в ходе 3 циклов с измерением выбросов аналогичный показатель приближается к 68 °С. Такое снижение могло бы быть и меньше (либо вообще не отмечаться), однако отсутствие в циклах приработки этапов охлаждения приводит к общему повышению средней температуры на данной стадии.

Таблица 12

Данные относительно средней температуры Тмз1а по 13 испытательным станциям. По трем лабораториям сведений нет ввиду проблем с файлами с привязкой ко времени или отсутствия данных относительно приработки (лаборатория С)

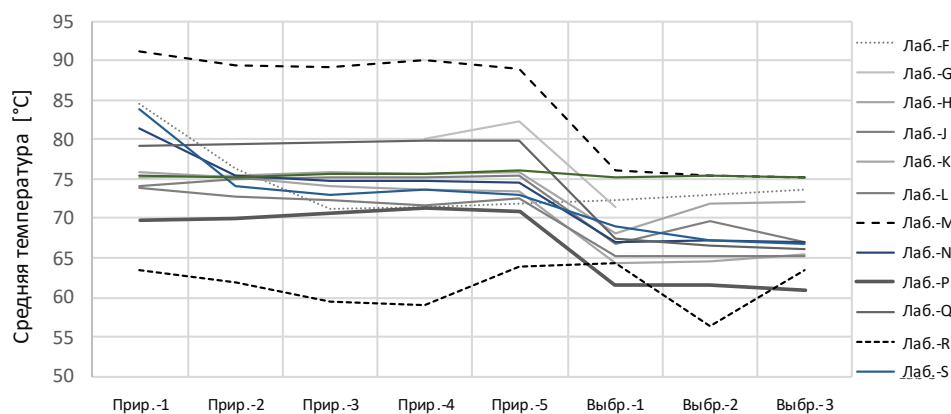
	<i>Прир.-1</i> [C°]	<i>Прир.-2</i> [C°]	<i>Прир.-3</i> [C°]	<i>Прир.-4</i> [C°]	<i>Прир.-5</i> [C°]	<i>Выбр.-1</i> [C°]	<i>Выбр.-2</i> [C°]	<i>Выбр.-3</i> [C°]
Лаб.-F	84,6	76,3	71,1	71,4	72,0	72,4	73,1	73,6
Лаб.-G	78,5	Д/Н	Д/Н	80,1	82,3	71,5	Д/Н	71,8
Лаб.-H	75,9	75,2	74,0	73,7	73,5	64,4	64,7	65,4
Лаб.-J	74,1	75,0	75,2	75,3	75,3	66,8	69,7	67,1
Лаб.-K	75,2	75,5	75,9	75,8	76,0	68,0	71,8	72,2
Лаб.-L	73,8	72,8	72,4	71,6	72,4	65,2	65,1	65,3
Лаб.-M	91,1	89,5	89,1	90,1	88,9	76,1	75,5	75,3
Лаб.-N	81,4	75,4	74,7	74,7	74,6	67,0	67,1	67,1
Лаб.-P	69,7	70,1	70,6	71,3	71,0	61,6	61,5	60,9
Лаб.-Q	79,3	79,5	79,6	79,9	79,9	67,4	66,5	66,2
Лаб.-R	63,5	62,0	59,5	58,9	64,0	64,3	56,4	63,5
Лаб.-S	83,9	74,1	72,9	73,6	73,0	69,1	67,2	66,7
Лаб.-T	75,4	75,3	75,6	75,8	76,0	75,3	75,5	75,3
СРЕДН.	77,4	75,1	74,2	74,8	75,3	68,4	67,8	68,5

81. Как явствует из таблицы 12, циклы приработки сопряжены с более значительными колебаниями средней температуры по сравнению с циклами измерения выбросов, которые, по всей видимости, характеризуются большей стабильностью средних значений температуры. Более наглядно это представлено на рис. 24, судя по которому нестабильность температурного режима для испытательного тормоза во время повторных циклов измерения выбросов наблюдалась только в случае лабораторий R и T. Как показывает более тщательный анализ данных этих двух испытательных станций, ими не был эффективно применен предлагаемый протокол, регламентирующий порядок приработки. В сущности, при всех прогонах по циклу испытаний тормозных механизмов на основе ВПИМ обе эти лаборатории охлаждали тормоза до 40 °С, так что последние подвергались предварительному кондиционированию по менее интенсивной процедуре по сравнению с используемой другими испытательными станциями. Ввиду крайней ограниченности имеющихся

элементов данных проанализировать влияние различных подходов к приработке на выбросы РМ/КЧ не представляется возможным; здесь уместно отметить, что лаборатория Т была единственной станцией, сообщившей результаты измерения выбросов летучих частиц. В целом можно предположить, что проведение 25-часового испытания при неизменно более низких значениях температуры может повлиять на режим выбросов при торможении. Аналогичные выводы были сделаны и в отношении других испытываемых дисковых тормозов.

Рис. 24

Средняя температура тормоза в ходе каждого цикла испытаний тормозных механизмов на основе ВПИМ по всем испытательным станциям (Тм31а)



82. В основу проведенного анализа эффективности предлагаемого протокола, регламентирующего процедуру приработки, была положена стабильность измерений РМ и КЧ в ходе трех повторных проверок (таблица 13).

Таблица 13

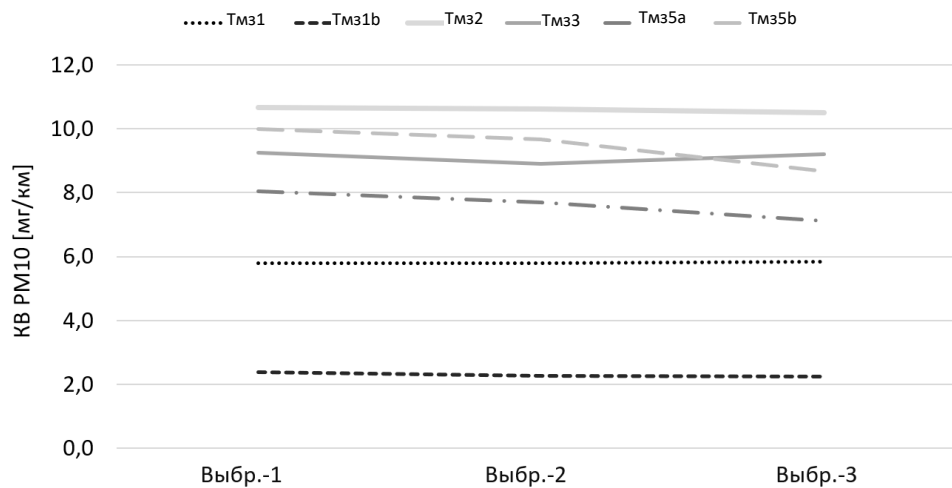
Выбросы РМ₁₀ эталонным тормозом на одно торможение. Приведены данные по трем повторным проверкам. По каждой испытательной станции также указан разброс в измерениях

	Выбросы-1 [мг/км]	Выбросы-2 [мг/км]	Выбросы-3 [мг/км]	Разброс [%]
Лаб.-F	7,2	7,2	7,6	3,1
Лаб.-G	6,5	6,3	6,2	2,4
Лаб.-H	1,7	3,5	4,1	40,3
Лаб.-J	6,1	5,9	5,7	3,4
Лаб.-K	2,7	2,8	2,8	2,1
Лаб.-L	5,6	5,7	5,8	1,8
Лаб.-M	7,3	7,8	7,9	4,2
Лаб.-N	4,0	4,2	4,1	2,4
Лаб.-P	Д/Н	3,0	2,6	10,1
Лаб.-Q	2,8	2,6	2,4	7,7
Лаб.-S	5,0	4,6	4,7	4,4
Лаб.-T	5,9	6,6	6,7	6,8
СРЕДН.	5,0	5,0	5,1	0,7

83. Как явствует из таблицы 13, уровни выбросов PM_{10} , замеренные на Тм31а во время трех повторных испытаний на выбросы, являются весьма схожими. Лаборатория Н столкнулась с рядом проблем, обусловленных более значительными потерями частиц; поэтому полученные ею результаты измерений PM не считаются надежными. Лаборатории же С и R использовали для трех повторных циклов с накоплением частиц один фильтр, а посему отдельных данных по трем повторным измерениям выбросов не имеется. Делается вывод о том, что при осуществлении графика стандартной приработки режим выбросов при торможении, по всей видимости, характеризуется достаточной степенью стабильности. То же самое относится и к остальным дисковым тормозам, испытанным в ходе МЛИ (рис. 25). В случае Тм35 менее высокая стабильность обусловлена гораздо большей ограниченностью имеющихся элементов данных по сравнению с другими дисковыми тормозами.

Рис. 25

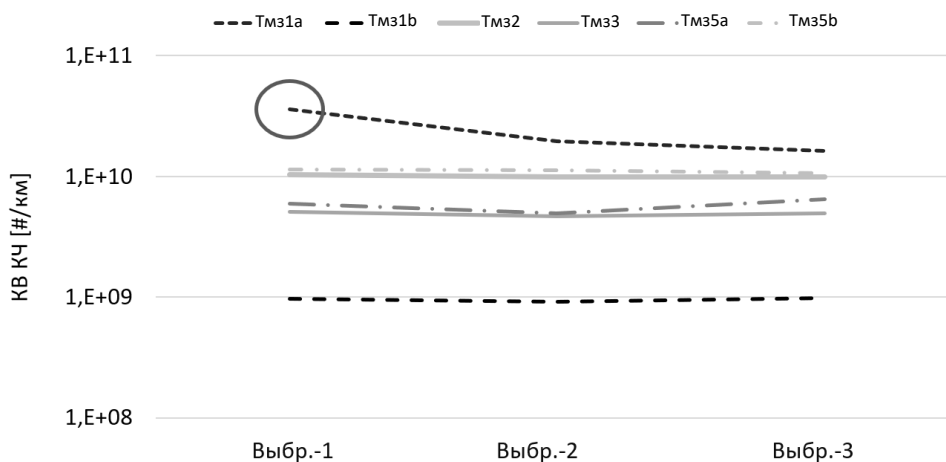
Средние значения выбросов PM_{10} по результатам всех измерений, проведенных испытательными станциями, для всех дисковых тормозов



84. Как явствует из рис. 26, после выполнения 5 циклов испытания тормозных механизмов на основе ВПМ уровни выбросов OKC_{10} для всех тормозов, судя по всему, стабилизируются. Уменьшение показателя при втором замере выбросов по сравнению с первым наблюдается только в случае Тм31а; однако это выведенное среднее значение в значительной мере обусловлено одним измерением, при котором учтено образование летучих частиц (лаборатория Т). Если конкретнее, то средний показатель OKC_{10} уменьшается с $3,6E+10$ #/км (1-й замер выбросов) до $2,0E+10$ #/км (2-й замер выбросов) и $1,6E+10$ #/км (3-й замер выбросов), тогда как зарегистрированный лабораторией Т объем выбросов составил $3,4E+11$ #/км, $1,4E+11$ #/км и $1,5E+11$ #/км, соответственно. В целом же, при осуществлении графика стандартной приработки работа дисковых тормозов в части выбросов PM и $KЧ$, по всей видимости, характеризуется достаточной степенью стабильности.

Рис. 26

Средние значения выбросов ОКЧ10 по результатам всех измерений, проведенных испытательными станциями, для всех дисковых тормозов



2. Барабанные тормоза

85. Пятью испытательными станциями с использованием барабанного тормоза были выполнены 15 стандартных циклов испытаний на выбросы при торможении на основе ВПИМ. Это соответствует 25 циклам испытания тормозов по ВПИМ с приработкой. Две испытательные станции столкнулись с затруднениями в плане успешного завершения процедуры приработки. Кроме того, лаборатория D представила в файлах с привязкой ко времени неполные данные относительно приработки. Несмотря на крайнюю ограниченность достоверных элементов данных, в данном случае также констатируется, что циклы приработки сопряжены с более значительными колебаниями средней температуры по сравнению с циклами измерения выбросов. Как явствует из рис. 27, средние значения температуры тормоза характеризуются большей стабильностью в ходе циклов измерения выбросов, нежели циклов приработки. В целом, средняя температура в цикле испытания тормозов на основе ВПИМ при переходе от этапа приработки к этапу измерения выбросов уменьшается в среднем на 15–25 °C. В таблице 14 представлены данные по средней температуре для Тм34.

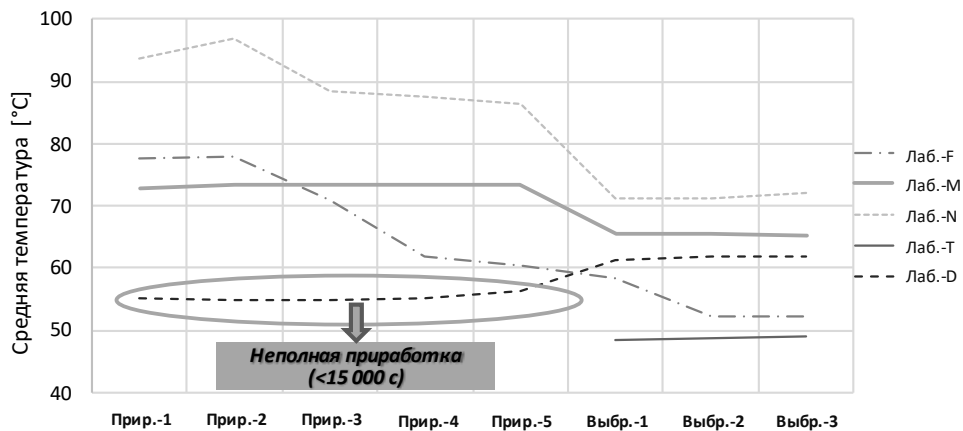
Таблица 14

Данные относительно средней температуры Тм34 в ходе циклов приработки и измерения выбросов. Представлены данные по 5 испытательным станциям

СРЕДН. темп.	Прир.-1 [C°]	Прир.-2 [C°]	Прир.-3 [C°]	Прир.-4 [C°]	Прир.-5 [C°]	Выбр.-1 [C°]	Выбр.-2 [C°]	Выбр.-3 [C°]
Лаб.-D	55,1	54,8	54,8	55,2	56,3	61,2	61,9	61,8
Лаб.-F	72,8	73,5	73,4	73,4	73,3	65,6	65,5	65,1
Лаб.-M	93,7	96,8	88,3	87,6	86,3	71,3	71,1	72,2
Лаб.-N	77,7	78,1	70,8	61,8	60,4	58,4	52,3	52,1
Лаб.-T	Д/Н	Д/Н	Д/Н	Д/Н	Д/Н	48,4	48,7	48,9
СРЕДН.	74,8	75,8	71,8	69,5	69,0	61,0	59,9	60,0

Рис. 27

Средняя температура барабанного тормоза по каждому циклу испытаний тормозных механизмов на основе ВПИМ. Лаборатория Т не представила данных относительно приработки. Данные лаборатории D свидетельствуют о неполном выполнении циклов приработки



86. В основу проведенного анализа эффективности предлагаемого протокола, регламентирующего процедуру приработки, — в порядке обеспечения надлежащего предварительного кондиционирования барабанного тормоза — была положена стабильность измерений РМ и КЧ в ходе трех повторных проверок. Как явствует из таблицы 15, уровни выбросов РМ, замеренные на Тм34 во время трех повторных испытаний на выбросы, являются весьма схожими. Лабораторией D по этим тормозам были представлены спорные данные о выбросах (разъясняются ниже в разделе, касающемся РМ); поэтому полученные ею результаты измерений РМ не считаются надежными. Лаборатория F по всем трем повторным проверкам сообщила о нулевых уровнях выбросов, однако представленные ею данные отражены для полноты картины. Делается вывод о том, что при осуществлении графика стандартной приработки режим выбросов при торможении, по всей видимости, характеризуется надлежащей степенью стабильности. В любом случае, выбросы РМ находятся на весьма низком уровне, а отмечаемый разброс значений не выходит за рамки предусмотренной методом погрешности.

Таблица 15

Выбросы РМ₁₀ и РМ_{2,5} барабанным тормозом (Тм34) на одно торможение. Приведены данные по трем повторным проверкам с указанием разброса значений

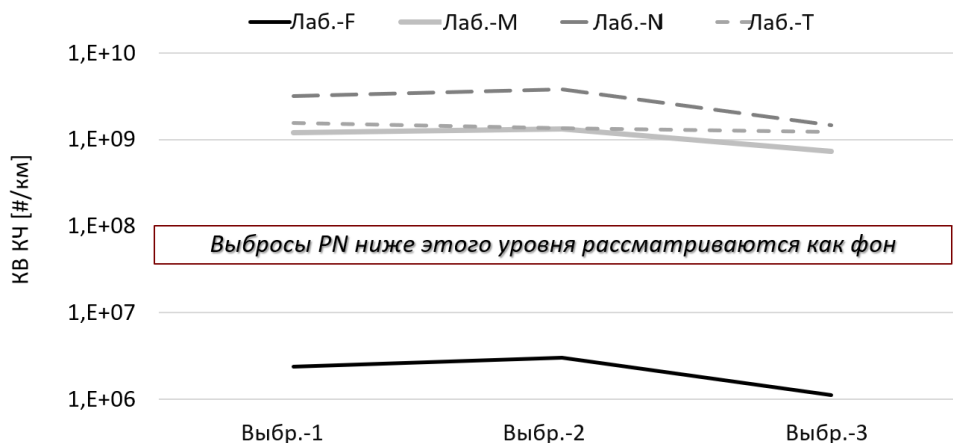
РМ ₁₀	Выбр.-1 [мг/км]	Выбр.-2 [мг/км]	Выбр.-3 [мг/км]	Разброс [%]	РМ _{2,5}	Выбр.-1 [мг/км]	Выбр.-2 [мг/км]	Выбр.-3 [мг/км]	Разброс [%]
Лаб.-D	1,4	0,6	0,0	105	Лаб.-D	Д/Н	Д/Н	Д/Н	Д/Н
Лаб.-F	0,0	0,0	0,0	Д/Н	Лаб.-F	0,0	0,0	0,0	Д/Н
Лаб.-M	0,4	0,3	0,3	17,3	Лаб.-M	0,2	0,2	0,2	0,0
Лаб.-N	0,6	0,7	0,7	8,7	Лаб.-N	0,4	0,4	0,5	13,3
Лаб.-T	0,5	0,7	0,7	18,2	Лаб.-T	0,3	0,4	0,4	15,7
СРЕДН.	0,6	0,5	0,4	7,1	СРЕДН.	0,2	0,3	0,3	10,0

87. Как явствует из рис. 28, после выполнения 5 циклов испытания тормозных механизмов на основе ВПИМ показатель ОКЧ10, судя по всему, стабилизируется на очень низких уровнях. Наблюдается тенденция к дальнейшему сокращению содержания ОКЧ10 между 7-м и 8-м повторными циклами испытаний тормозов по ВПИМ, которая, однако, подтверждается не всеми испытательными станциями. Кроме

того, поскольку уровень выбросов весьма низок, сделать сколь-либо обоснованные выводы довольно затруднительно. Результаты замеров, проведенных лабораторией F, соответствуют уровням выбросов гораздо ниже фоновых, а посему не считаются достоверными.

Рис. 28

Средние значения выбросов ОКЧ10 по результатам всех измерений, проведенных четырьмя испытательными станциями на барабанном тормозе. Лаборатория D не представила результаты измерений КЧ



88. В целом при осуществлении графика стандартной приработки работа барабанного тормоза в части выбросов РМ и КЧ, по всей видимости, характеризуется достаточной степенью стабильности. Однако, ввиду крайней ограниченности имеющихся элементов данных, прийти к однозначному выводу невозможно; проведение дальнейших исследований позволит в будущем усовершенствовать — не забывая о практических аспектах — существующую процедуру. Рядом заинтересованных сторон было предложено выполнять приработку барабанных тормозов в условиях более высокой полезной нагрузки. Однако приложение к задним тормозам чрезмерной нагрузки представляется спорным вопросом. Для транспортных средств категории М1 номинальное распределение тормозных усилий составляет 70:30, а для автомобилей категории N1 — 60:40 или около того. Поэтому приложение к заднему тормозу нагрузки, в два или три раза превышающей нагрузку на передний тормоз, может изменить характеристики трения на этапе приработки и заметно сказаться на свойствах содержащихся в выбросах частиц в ходе последующих циклов испытания.

3. Альтернативный метод приработки

89. Некоторыми участниками было предложено изучить возможность применения другого протокола, регламентирующего порядок предварительного кондиционирования тормозов. В этой связи поступило предложение провести ряд дополнительных испытаний для сопоставления процедуры приработки тормозов с выполнением 10 прогонов #10 цикла испытаний тормозных механизмов на основе ВПИМ со стандартным методом. В таблице 16 приведены основные различия между двумя «протоколами». Как видно, стандартный метод характеризуется большей продолжительностью процедуры, на 33 % превышающей продолжительность в случае альтернативного метода, однако во время предварительного кондиционирования тормоза обеспечивает более высокое — на 33 % — рассеяние энергии.

Таблица 16

Основные различия между протоколами, регламентирующими стандартный и альтернативный методы приработки. Рассматриваются такие аспекты, как продолжительность, энергия торможения, количество событий и среднее замедление

	<i>Продолжительность по умолчанию [ч]</i>	<i>Энергия торможения [Вт·ч]</i>	<i>Количество событий торможения [#]</i>	<i>Среднее замедление [м/с²]</i>
Стандартный (5 x цикл испытаний тормозов по ВПИМ)	22,0	168,9	1 515	0,97
Альтернативный (10 x прогон #10)	14,6	113,4	1 140	0,93
Различие [%]	33 %	33 %	25 %	4 %

90. В ходе МЛИ тремя испытательными станциями на нескольких тормозах (Тмз1, Тмз2, Тмз3) были проведены испытания с приработкой по альтернативной процедуре. В принципе, все циклы приработки были выполнены успешно. Лаборатории L и N также без каких-либо проблем завершили испытания на выбросы. Данные по выбросам, полученные от лаборатории В, по просьбе самой испытательной станции не учитывались в рамках анализа как зачетные. Выше уже отмечалось, что стандартный метод приработки обеспечивает стабильность средних значений температуры на протяжении испытаний на выбросы. Аналогичная тенденция наблюдается и при использовании альтернативного метода. После выполнения приработки по альтернативной процедуре средняя температура в ходе испытаний на выбросы в рамках цикла испытаний тормозных механизмов на основе ВПИМ, судя по всему, остается стабильной; исключение составляют замеры, проведенные лабораторией N на Тмз3. Несмотря на ограниченность имеющихся элементов данных, анализ средних значений температуры не дает оснований говорить о неадекватности предварительного кондиционирования с применением альтернативного метода.

91. В основу проведенного анализа эффективности двух протоколов, регламентирующих процедуру приработки, была положена стабильность измерений РМ и КЧ в ходе трех повторных проверок. Как явствует из таблицы 17, результаты измерений РМ, полученные с применением альтернативного метода приработки, в целом характеризуются бóльшим разбросом значений по сравнению со стандартным методом. Также отмечается, что общие уровни выбросов РМ, похоже, не сильно зависят от метода приработки — исключение составляют испытания на Тмз3. При использовании альтернативного метода приработки регистрируются гораздо более низкие уровни выбросов РМ₁₀ (4,7 мг/км против 6,9 мг/км). Четкого объяснения этому явлению нет, однако оно может быть связано с отмечаемыми расхождениями по температуре, о чем говорилось выше. В целом, режим выбросов представляется более стабильным при использовании стандартного метода, хотя весьма ограниченные имеющиеся данные не позволяют с уверенностью прийти к однозначному выводу.

Таблица 17

Выбросы PM₁₀ различными тормозами в мг/км на одно торможение. Приведены данные по трем повторным проверкам. Применительно к каждому тормозу также указан разброс в измерениях

<i>Альтернативный метод приработки — PM₁₀</i>	<i>Выбросы-1 [мг/км]</i>	<i>Выбросы-2 [мг/км]</i>	<i>Выбросы-3 [мг/км]</i>	<i>Средний показатель [мг/км]</i>	<i>Разброс [%]</i>
Лаб. L — Тмз1а	6,7	5,7	5,5	6,0	11 %
Лаб. L — Тмз1b	3,3	3,4	4,3	3,7	15 %
Лаб. L — Тмз2	9,3	Д/Н	Д/Н	9,3	Д/Н
Лаб. L — Тмз3	9,5	9,4	9,2	9,4	2 %
Лаб. N — Тмз3	5,2	4,6	4,4	4,7	9 %

<i>Стандартный метод приработки — PM₁₀</i>	<i>Выбросы-1 [мг/км]</i>	<i>Выбросы-2 [мг/км]</i>	<i>Выбросы-3 [мг/км]</i>	<i>Средний показатель [мг/км]</i>	<i>Разброс [%]</i>
Лаб. L — Тмз1а	5,6	5,7	5,8	5,7	2 %
Лаб. L — Тмз1b	3,4	3,4	3,8	3,5	7 %
Лаб. L — Тмз2	9,6	9,3	9,6	9,5	2 %
Лаб. L — Тмз3	8,5	8,6	8,6	8,6	1 %
Лаб. N — Тмз3	7,6	7,1	6,1	6,9	11 %

92. Как явствует из таблицы 18, результаты измерений ОКЧ10, полученные с применением альтернативного метода приработки, характеризуются аналогичным или чуть большим разбросом значений по сравнению со стандартным методом. В целом уровни выбросов ОКЧ10, похоже, не зависят от метода приработки — исключение опять же составляют испытания на Тмз3, проведенные лабораторией N, в случае которых полученные значения отличаются на порядок величины (4,2E+08 #/км против 5,2E+09 #/км), что соответствует результатам по РМ. Однако из-за ограниченности имеющихся элементов данных сделать — применительно к двум рассматриваемым методам — четкий вывод относительно режима выбросов не представляется возможным. В целом же, при осуществлении графика стандартной приработки работа тормозов в части выбросов РМ и КЧ, по всей видимости, характеризуется более высокой степенью стабильности. Однако, ввиду крайней ограниченности имеющихся элементов данных, прийти к однозначному выводу невозможно; проведение дальнейших исследований позволит в будущем усовершенствовать применяемую процедуру.

Таблица 18

Выбросы ОКЧ10 различными тормозами в #/км на одно торможение. Приведены данные по трем повторным проверкам. Применительно к каждому тормозу также указан разброс в измерениях

<i>Альтернативный метод приработки — ОКЧ10</i>	<i>Выбросы-1 [#/км]</i>	<i>Выбросы-2 [#/км]</i>	<i>Выбросы-3 [#/км]</i>	<i>Средний показатель [#/км]</i>	<i>Разброс [%]</i>
Лаб. L — Тмз1а	1,3E+09	1,3E+09	1,3E+09	1,3E+09	2 %
Лаб. L — Тмз1b	1,4E+09	1,2E+09	1,1E+09	1,2E+09	12 %
Лаб. L — Тмз2	Д/Н	Д/Н	Д/Н	Д/Н	Д/Н
Лаб. L — Тмз3	3,1E+09	3,1E+09	3,1E+09	3,1E+09	1 %
Лаб. N — Тмз3	4,3E+08	4,3E+08	4,1E+08	4,2E+08	3 %

Стандартный метод приработки — ОКЧ10	Выбросы-1 [#/км]	Выбросы-2 [#/км]	Выбросы-3 [#/км]	Средний показатель [#/км]	Разброс [%]
Лаб. L — Тм31a	1,4E+09	1,4E+09	1,4E+09	1,4E+09	0 %
Лаб. L — Тм31b	1,2E+09	1,1E+09	1,1E+09	1,1E+09	6 %
Лаб. L — Тм32	5,4E+09	5,7E+09	5,6E+09	5,6E+09	3 %
Лаб. L — Тм33	3,0E+09	3,0E+09	3,1E+09	3,1E+09	1 %
Лаб. N — Тм33	5,5E+09	5,0E+09	5,1E+09	5,2E+09	4 %

Г. Этап измерения показателей выбросов

1. Измерение массовой концентрации РМ

93. В качестве общих принципов, которыми надлежит руководствоваться при изменении массы РМ, по линии ЦГ2 был подготовлен ряд минимальных базовых спецификаций. В основу методики положено гравиметрическое измерение массы выбросов РМ₁₀ и РМ_{2,5}. ЦГ2 определила минимальные технические требования в отношении следующего: а) перенос и извлечение аэрозоля; б) устройства отбора проб РМ; в) пробоотборные средства; и д) процедура взвешивания. Ниже приводится их краткое описание.

94. Перенос и извлечение. Было рекомендовано ограничить до минимума количество изгибов, а при необходимости — проектировать их с радиусом, превышающим в 1,5 раза диаметр воздуховода/патрубка. Плоскость отбора проб располагалась на расстоянии не менее 5 гидравлических диаметров вниз по потоку и не менее 2 гидравлических диаметров вверх по потоку от места нарушения потока в соответствии со стандартом ISO 9096. Для обеспечения изокинетического отбора проб как РМ₁₀, так и РМ_{2,5} было предписано использовать надлежащие насадки. Был дан ряд рекомендаций по выбору пробоотборных насадок согласно стандарту ISO 9096. Изокинетический коэффициент должен был находиться в пределах 0,90–1,15. Угол всасывания ограничивался величиной $\pm 15^\circ$. Использование для целей измерения содержания РМ разделителей потока не рекомендовалось.

95. Устройства отбора проб РМ. Для отбора проб РМ₁₀ и РМ_{2,5} прежде всего использовались одно- или многоступенчатые циклонные сепараторы РМ₁₀ и РМ_{2,5} с последующими гравиметрическими фильтродержателями. В качестве альтернативы использовались одно- или многоступенчатые инерционные импакторы. При этом соблюдались спецификации, регламентирующие эффективность сепарации и указанные в стандартах ISO 23210 и ISO 25597, соответственно. Если перед устройством накопления РМ испытательными станциями использовался предварительный классификатор, то — во избежание снижения эффективности устройства отбора проб РМ — обеспечиваемая им точка отсечки должна была составлять $\geq 11,5$ мкм. Фильтр для улавливания РМ устанавливался как можно ближе к предварительному классификатору на расстоянии не более 1 м вниз по потоку от выхода из него. Расход пробы поддерживался на постоянном уровне (т. е. в пределах 5 % от заданного значения на протяжении всего испытания), с тем чтобы не происходило нарушение соответствующей кривой эффективности ее отбора.

96. Пробоотборные средства. Фильтры для отбора проб РМ соответствовали стандарту EN 12341 с точки зрения следующих минимальных требований: обеспечиваемая плоским фильтром эффективность улавливания частиц испытательного аэрозоля аэродинамическим диаметром 0,3 мкм на уровне не менее 99,5 % при максимальном расходе при отборе проб либо на уровне не менее 99,9 % в случае частиц испытательного аэрозоля аэродинамическим диаметром 0,6 мкм. Эта эффективность была подтверждена поставщиком фильтров. Для измерения массы РМ₁₀ и РМ_{2,5} использовались фильтры из стекловолокна с тефлоновым покрытием или

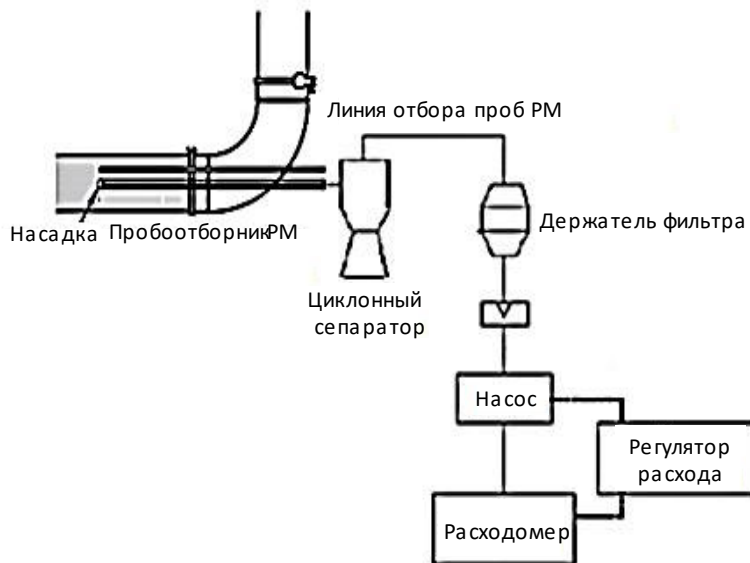
фильтры с 47-миллиметровой мембраной из ПТФЭ с полимерным опорным кольцом либо соответствующей импакторной пластиной. В случае инерционных импакторов в качестве импакционной подложки было рекомендовано использовать алюминиевую фольгу или поликарбонатную пленку. На импакционную подложку надлежало наносить тонкий слой клейкого накопительного субстрата во избежание отскока или вторичного уноса частиц.

97. Процедура взвешивания. Испытательным станциям было предписано взвешивать только фильтр — или импакционную подложку, — но не любую другую часть испытательного оборудования. Фильтры или подложки до и после их использования подвергались кондиционированию в течение минимум 24 ч и минимум 1 ч, соответственно, в стандартных условиях температуры и влажности (при температуре 22 ± 3 °C и ОВ 50 ± 10 % согласно пункту 1 CFR 1065.190). Условия окружающей среды в помещении для взвешивания были отрегулированы для обеспечения температуры на уровне 22 ± 1 °C и ОВ 50 ± 5 % и соответствующим образом контролировались. Для снятия с фильтров заряда и во избежание электростатических помех использовался разрядник (радиоактивный или коронный). Разрешающая способность весов составляла не менее 1 мкг, и весы были изолированы от вибраций, электростатических сил и потоков воздуха. В целях подтверждения результатов взвешивания РМ использовались эталонные фильтры, соответствующие каждой фильтруемой среде. Взвешивание фильтров РМ производилось дважды. Если разница между первым и вторым результатами измерения превышала 30 мкг, фильтр взвешивался в третий раз. Если разница между вторым и третьим результатами измерения все же превышала 30 мкг, сеанс взвешивания признавался незачетным.

98. После того, как МЛИ был завершен, ЦГ2 — проанализировав полученные результаты и учтя извлеченные уроки — установила в рамках окончательного протокола более жесткие технические требования, предъявляемые к измерению РМ. На рис. 29 в общем виде представлена предлагаемая конфигурация. Подробное описание всех элементов, показанных на рис. 29, приводится в тексте ГТП ООН. Расположение и размеры различных элементов носят ориентировочный характер и приведены для наглядности; поэтому точное соответствие данному рисунку не обязательно. В ГТП ООН были включены пять пунктов:

- 12.1.1 в нем содержится описание общих элементов, связанные с извлечением аэрозоля, и дается определение плоскости отбора проб;
- 12.1.2 в нем освещаются различные аспекты отбора проб РМ, включая устройство сепарации и линии отбора проб. Оговариваются технические требования, предъявляемые к циклонному сепаратору и пробоотборным патрубкам. Рассматриваются положения, касающиеся объемного расхода проб и изокINETического коэффициента;
- 12.1.3 в нем рассматриваются общие спецификации, регламентирующие пробоотборные средства, которые допускается использовать при измерении содержания РМ. Этот пункт в значительной мере позаимствован из ГТП № 15 ООН — по сравнению с первоначальным предложением внесено не так много изменений;
- 12.1.4 в нем рассматриваются общие спецификации, регламентирующие процедуру взвешивания. Сама процедура была несколько изменена. Также освещаются аспекты предварительного кондиционирования фильтров и обращения с ними;
- 12.1.5 в нем содержится описание метода расчета выбросов РМ с учетом типа испытуемого тормоза (полноприводной фрикционный тормоз или же нефрикционный тормоз).

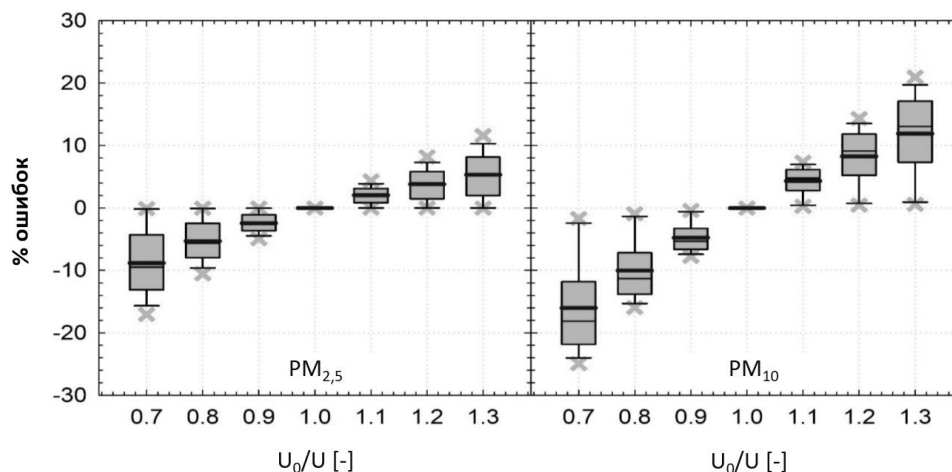
Рис. 29

Примерная конфигурация устройства для отбора проб РМ

99. Перенос и извлечение. К числу основных процессов, чреватых ошибками и потерями при переносе частиц от кожуха до плоскости отбора проб, а также при их извлечении из насадки для отбора проб РМ относятся: i) анизокинетический отбор проб, ii) анизосиальный отбор проб, iii) инерционное соударение и iv) гравитационное осаждение. Данные и результаты МЛИ послужили целям более углубленного изучения этих источников ошибок. Как явствует из рис. 30, анизокинетический отбор проб сопряжен со значительным воздействием на обе фракции РМ. Поэтому применительно к МЛИ было предложено установить изокинетический коэффициент на уровне 0,90–1,15 в соответствии с требованиями, определенными в стандарте ISO 9096. Отбор проб определяется как изокинетический в том случае, когда скорость воздуха в туннеле для отбора проб и в насадке для отбора проб равны. Изокинетический коэффициент определяется как отношение скорости воздуха в насадке для отбора проб к скорости воздуха в туннеле для отбора проб.

Рис. 30

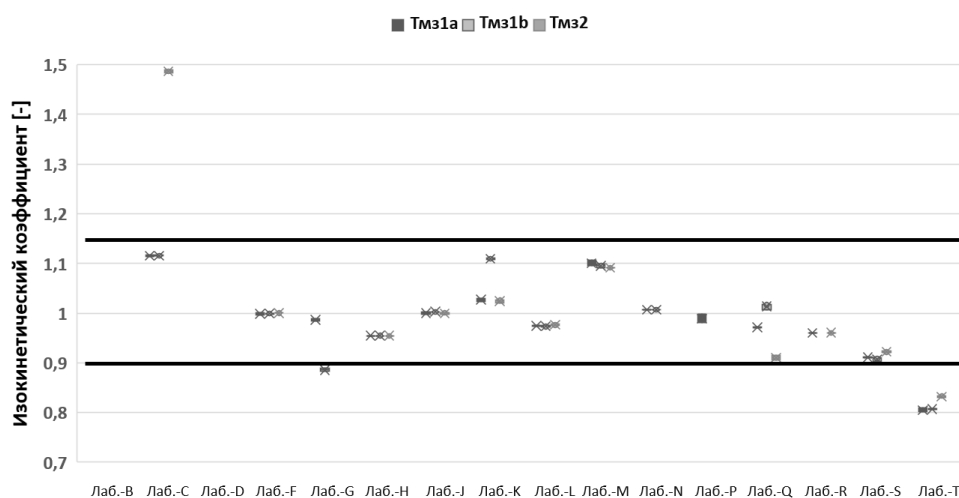
Процентная доля ошибок при расчете показателей $PM_{2,5}$ и PM_{10} с использованием различных значений изокинетического коэффициента.
 Диаграмма позаимствована из материалов компании «АВЛ», представленных на 28-м заседании ЦГ 2



100. На рис. 31 показан средний изокинетический коэффициент, рассчитанный всеми испытательными станциями на этапе измерения выбросов для обязательных тормозов (Тм31а, Тм31б и Тм32). Расчет изокинетического коэффициента производился по уравнению 12.3, указанному в ГТП ООН. Значения расхода воздуха в туннеле для отбора проб и в насадке относятся к одинаковым условиям температуры и давления; поэтому для обеспечения сопоставимости результатов между различными испытательными станциями использовались нормализованные значения. На диаграмме представлены результаты измерений PM_{10} ; однако в случае $PM_{2,5}$ были зарегистрированы аналогичные значения (не показаны).

Рис. 31

Средний изокинетический коэффициент, рассчитанный на этапе измерения выбросов для Тм31а, Тм31б и Тм32 по фракции PM_{10}

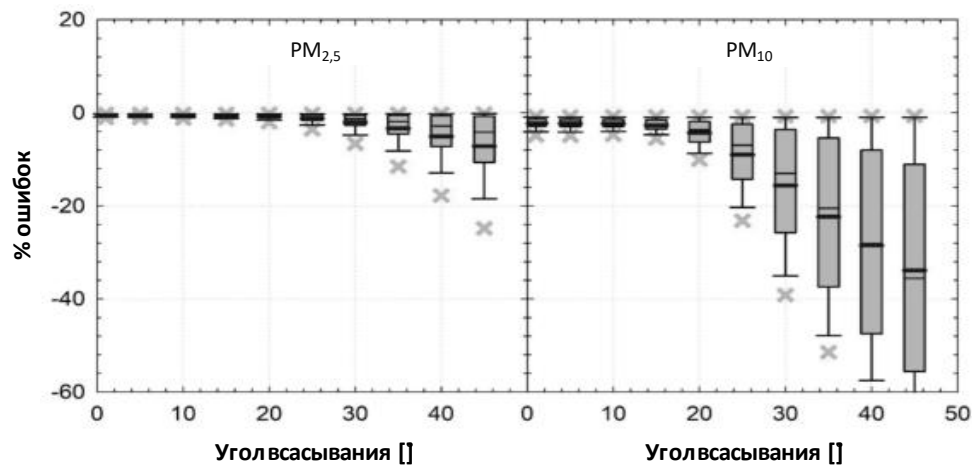


101. Как видно из рис. 31, почти всеми испытательными станциями испытания на выбросы с использованием обязательных тормозов проводились в оптимальных с точки зрения изокинетического коэффициента условиях. Лаборатория Т провела все испытания при самой низкой величине изокинетического коэффициента, а именно 0,8, ожидаемым следствием чего является недооценка выбросов PM этой испытательной станцией примерно на 10 %. Лаборатория С провела измерения при изокинетическом коэффициенте 1,5, что привело к значительному завышению выбросов PM_{10} для Тм32. Во всех остальных случаях соблюдались пороговые значения 0,9–1,15. Это означает, что зафиксированные испытательными станциями ошибки при расчете показателей PM нельзя приписать только анизокинетическому отбору проб. Следует отметить, что расчет изокинетического коэффициента производился с использованием усредненного по испытаниям значения расхода охлаждающего воздуха по файлу с привязкой по времени. Однако расход охлаждающего воздуха не всегда измеряется правильно, откуда и происходят возможные ошибки с полученными значениями изокинетического коэффициента. Это стало одной из причин ограничения измерений расхода охлаждающего воздуха, о чем уже говорилось в докладе выше. Кроме того, проведение расчетов предполагает стабильность расхода пробы PM_{10} , что не всегда имеет место. Поэтому в ГТП ООН было включено техническое требование, согласно которому расход используемого для отбора проб воздуха должен поддерживаться на постоянном уровне. Если конкретнее, то изокинетический отбор проб должен обеспечиваться за счет точного регулирования расхода охлаждающего воздуха и расхода пробы PM . Следовательно, необходимо проверить и удостовериться, что фактические показатели расхода после испытания соответствуют номинальным значениям с отклонением $\pm 5\%$. Наконец, было предписано использовать соответствующие насадки для достижения изокинетического коэффициента, максимально приближенного к 1,0.

102. Как явствует из рис. 32, при изокINETическом отборе проб анизоксИАльный эффект при углах всасывания менее 15° практически отсутствует. Поэтому было предложено установить максимально допустимый угол всасывания в 15°. В ходе МЛИ все испытательные станции заявили о соблюдении спецификации, предписывающей ограничение угла всасывания максимальной величиной 15°. Таким образом, сделать по итогам МЛИ какие-либо выводы относительно этого параметра и его влияния на выбросы РМ не представлялось возможным. Предлагаемое для целей ГТП ООН ограничение на угол в 15° остается неизменным.

Рис. 32

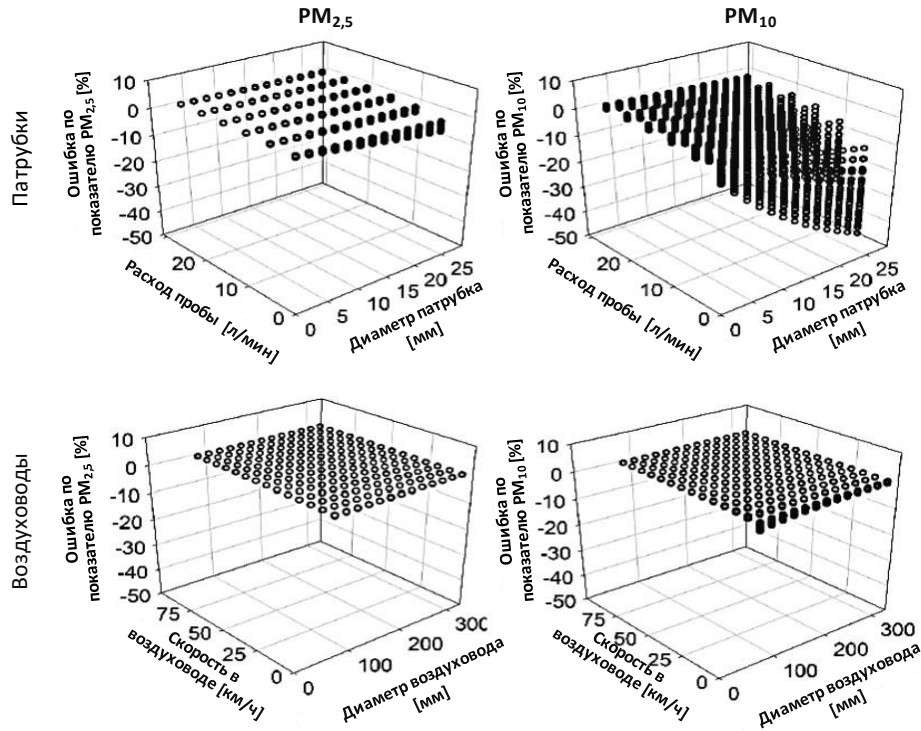
Процентная доля ошибок при расчете показателей $PM_{2,5}$ и PM_{10} с использованием различных значений угла всасывания. Диаграмма позаимствована из материалов компании «АВЛ», представленных на 28-м заседании ЦГ2



103. На рис. 33 отражена теоретическая процентная доля обусловленных гравитационными потерями частиц ошибок при измерении показателей $PM_{2,5}$ (левая сторона) и PM_{10} (правая сторона) в зависимости от расхода пробы/скорости воздуха в туннеле, а также внутреннего диаметра патрубка/туннеля в случае патрубков для отбора проб РМ (верхняя часть) и пробоотборного туннеля (нижняя часть), соответственно. Как явствует из диаграмм, гравитационные потери в туннельных воздуховодах обычно не являются критичными. Этот момент уже затрагивался выше в связи с рис. 8 и подкрепляется настоящим пунктом. С другой стороны, в горизонтальных патрубках, особенно когда большие диаметры сочетаются с малым расходом потока, гравитационные потери могут быть значительными: в первую очередь это относится к PM_{10} и в меньшей степени — к $PM_{2,5}$.

Рис. 33

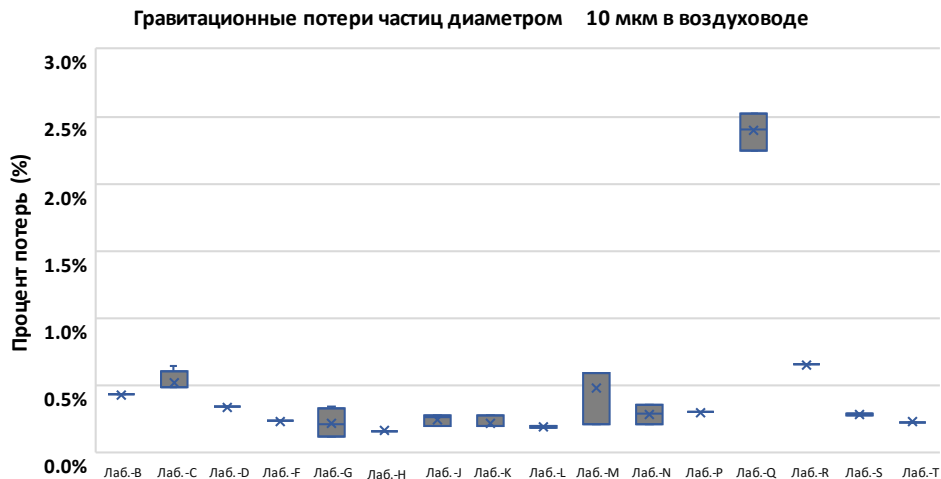
Процентная доля обусловленных гравитационными потерями частиц ошибок при измерении показателей $PM_{2,5}$ и PM_{10} в зависимости от расхода пробы/ скорости воздуха в туннеле, а также внутреннего диаметра патрубка/туннеля в случае патрубков для отбора проб PM и пробоотборного туннеля



104. Попытка рассчитать гравитационные потери частиц диаметром 10 мкм при различных конфигурациях в ходе МЛИ представлена ниже. Расчеты производились для всех используемых значений расхода с учетом внутреннего диаметра пробоотборного туннеля. За типичную длину туннеля для отбора проб был взят 1 м — причем полученные результаты весьма схожи с получаемыми при длине, составляющей 1,5 м. Как видно из рис. 34, при обеспечении в ходе МЛИ типичных эксплуатационных условий гравитационные потери в туннеле скорее всего будут весьма низкими.

Рис. 34

Процент ошибок, обусловленных гравитационными потерями частиц диаметром 10 мкм в туннеле. Использовались следующие допущения: $d_a = 10$ мкм, $V_{\text{settling}} = 0,00304$ м/с, $\rho_{\text{air}} = 1,2$ кг/м³, $\mu = 1,83E-05$, $L_{\text{ref}} = 1$ м

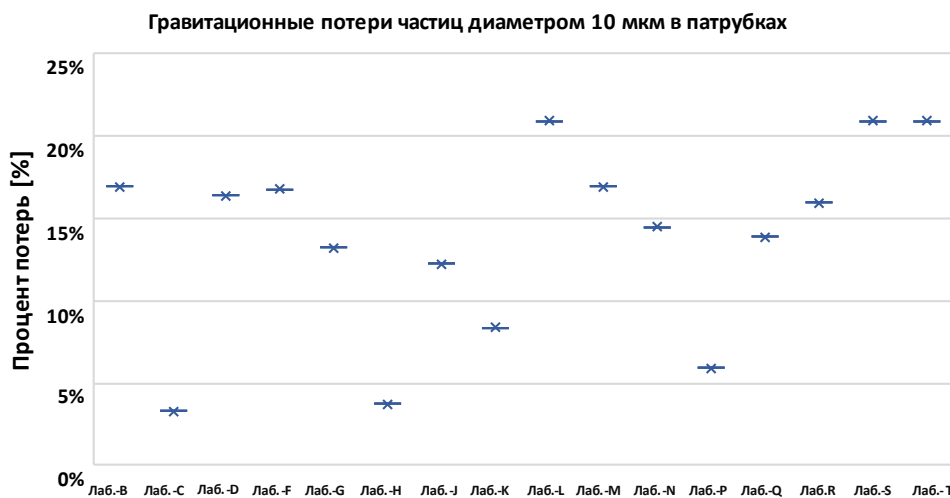


105. Нижнее число Рейнольдса приближалось к 40 000, за исключением лаборатории Q, в случае которой его значения в целом были менее высокими, так что турбулентный поток не обеспечивался. Что касается $PM_{2.5}$, то здесь гравитационные потери намного ниже. Таким образом, гравитационные потери в туннеле не являются предметом беспокойства.

106. Аналогичная попытка рассчитать гравитационные потери частиц диаметром 10 мкм в линиях отбора проб представлена ниже (рис. 35). В данном случае расчеты производились для пробоотборного патрубка, а не пробоотборного зонда.

Рис. 35

Проект ошибок, обусловленных гравитационными потерями частиц диаметром 10 мкм в линиях отбора проб. Использовались следующие допущения: $d_a = 10$ мкм, $V_{\text{settling}} = 0,00304$ м/с, $\rho_{\text{air}} = 1,2$ кг/м³, $\mu = 1,83E-05$, $L_{\text{ref}} = 1$ м



107. Как видно из рис. 35, гравитационные потери в случае патрубков — в отличие от воздухопроводов — могут оказаться более критичными. В условиях МЛИ ожидаемые потери частиц диаметром 10 мкм достигали для некоторых испытательных станций 20 %; однако совокупное влияние на фракцию PM_{10} , скорее всего, будет не столь значительным. В любом случае, было решено добиваться — насколько это возможно — сведения таких потерь к минимуму. Поэтому в контексте ГТП ООН использование протяженных линий с патрубками крупного диаметра при низких значениях расхода больше не допускается. Однако требуется определенная оптимизация, в том числе с учетом возможных инерционных потерь, которая рассматривается ниже.

108. На рис. 36 отражена теоретическая процентная доля обусловленных инерционными потерями частиц ошибок при измерении показателей $PM_{2.5}$ (левая сторона) и PM_{10} (правая сторона) в зависимости от расхода пробы/скорости воздуха в туннеле, а также внутреннего диаметра патрубка/туннеля в случае патрубков для отбора проб PM (верхняя часть) и пробоотборного туннеля (нижняя часть), соответственно. Как явствует из диаграмм, при определенных условиях инерционное соударение на изгибах может стать чрезмерным. В туннеле для отбора проб увеличение инерционных потерь отмечается при высокой скорости охлаждающего воздуха. В пробоотборных же патрубках увеличение инерционных потерь происходит при сочетании высокого расхода пробы с малым внутренним диаметром патрубка.

109. Попытка рассчитать инерционные потери частиц диаметром 10 мкм при различных конфигурациях в ходе МЛИ представлена ниже. Расчеты производились для всех используемых значений расхода с учетом внутреннего диаметра пробоотборного туннеля. Во всех случаях в конфигурации учитывалось наличие изгиба на 90°. Как видно из рис. 37, при обеспечении в ходе МЛИ типичных эксплуатационных условий инерционные потери в туннеле скорее всего будут варьироваться от умеренных (до 20 %) до низких (обычно менее 10 %). Они могут

стать более критичными при высоких значениях скорости воздуха в туннеле, как в случае лабораторий F (54 км/ч), H (67 км/ч) и G для Tm35 (74 км/ч). Совокупное же влияние на фракцию PM₁₀ будет еще меньше. В целом, инерционные потери в туннеле — при наличии максимум одного изгиба на 90° и расходе в туннеле в пределах типичных значений, использовавшихся в ходе МЛИ, — не являются предметом беспокойства.

Рис. 36

Процентная доля обусловленных инерционными потерями частиц ошибок при измерении показателей PM_{2,5} и PM₁₀ в зависимости от расхода пробы/скорости воздуха в туннеле, а также внутреннего диаметра патрубка/туннеля в случае патрубков для отбора проб PM и пробоотборного туннеля

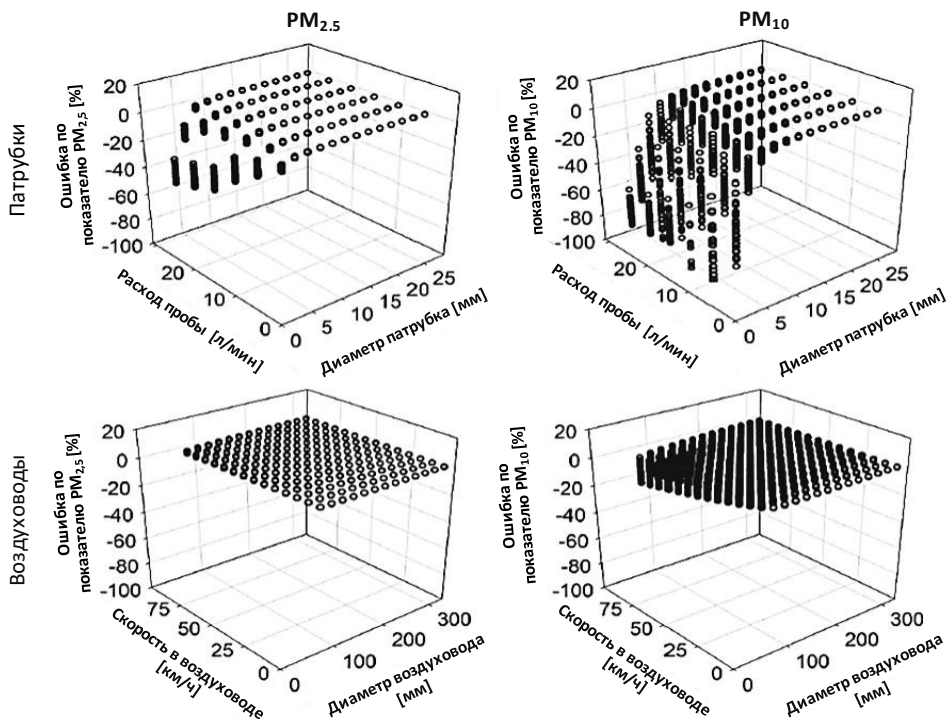
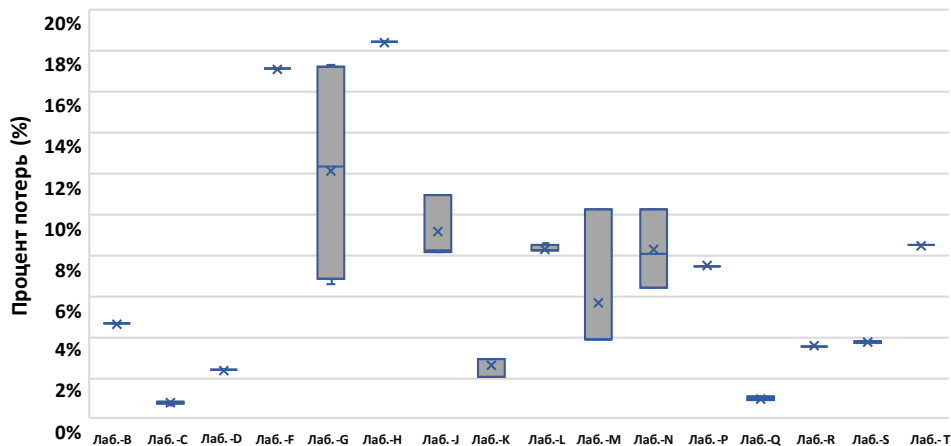


Рис. 37

Процент ошибок, обусловленных инерционными потерями частиц диаметром 10 мкм в туннеле. Использовались следующие допущения: d_a = 10 мкм, V_{settling} = 0,00304 м/с, ρ_{air} = 1,2 кг/м³, μ = 1,83E-05, t_{rel} = 0,00031 с, один изгиб на 90°

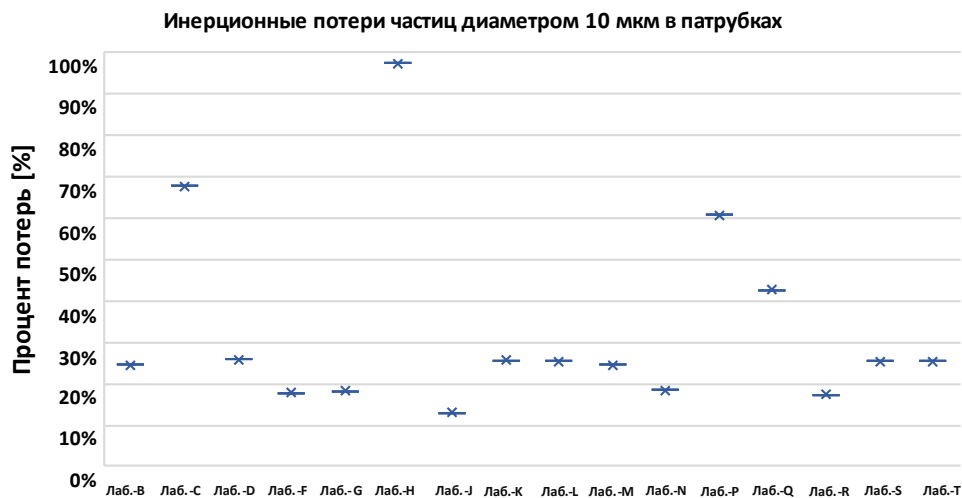
Инерционные потери частиц диаметром 10 мкм в воздуховоде



110. Были рассчитаны инерционные потери частиц диаметром 10 мкм в линиях отбора проб. При этом расчеты производились для пробоотборного патрубка, а не пробоотборного зонда. Как видно из рис. 38, в случае патрубков даже с одним изгибом инерционные потери могут оказаться весьма критичными. Лабораториями Н, Р и С были зафиксированы очень высокие потери, что пагубно отразилось на общей фракции PM_{10} — высокими инерционными потерями объясняются крайне низкие уровни выбросов PM_{10} по сравнению со средними показателями, рассчитанными в приложении. И опять же, надлежит, по возможности, избегать сочетания малых диаметров с очень высокими значениями расхода.

Рис. 38

Процент ошибок, обусловленных инерционными потерями частиц диаметром 10 мкм в линиях отбора проб. Использовались следующие допущения:
 $d_a = 10$ мкм, $V_{\text{settling}} = 0,00304$ м/с, $\rho_{\text{air}} = 1,2$ кг/м³, $\mu = 1,83E-05$, $t_{\text{rel}} = 0,00031$ с,
 один изгиб на 90°



111. Участниками ПИЧ признается, что одной из важнейших причин потерь РМ в системе является наличие изгибов. В идеале от них следовало бы полностью отказаться. Однако поскольку они обеспечивают определенную гибкость при проектировании схемы расположения, было решено допустить возможность их использования. Исходя из представленных выше результатов, было принято решение разрешить наличие в туннеле для отбора проб изгиба максимум на 90° при условии, что радиус изгиба должен быть не менее чем в два раза больше внутреннего диаметра туннеля. Аналогичным образом, в случае пробоотборных патрубков допускается изгиб максимум на 90° при условии, что радиус изгиба не менее чем в 4 раза превышает внутренний диаметр зонда и в 25 раз — внутренний диаметр линии отбора проб, соответственно.

112. Минимальный диаметр, предписанный для пробоотборного туннеля, составляет 175 мм, а максимальный — 225 мм. Судя по результатам МЛИ, диаметр воздуховода не влияет существенным образом на гравитационные или инерционные потери частиц. Однако, исходя из результатов МЛИ, налицо явная необходимость в унификации протокола и введении дальнейших ограничений в плане возможных конструктивных решений. Это и является причиной ограничения возможностей выбора диапазоном 175–225 мм. Такой разбег значений диаметра позволяет выбрать подходящую компоновку с учетом потребностей испытательных станций, не ограничиваясь одним «негибким» вариантом. При этом допускаются схемы с тремя или четырьмя пробоотборными зондами в зависимости от потребностей испытательной станции. Наконец, по всей видимости, обеспечивается охват потребностей различных рынков.

113. Кроме того, минимальный диаметр, предписанный для линий отбора проб, составляет 10 мм, а максимальный — 20 мм; для зондов эти значения составляют 10 мм и 18 мм, соответственно. Как ожидается, в случае таких диаметров потери РМ —

при использовании типичных показателей расхода в туннеле и расхода проб — окажутся минимальными. Испытательная станция может выбирать оптимальные диаметры в зависимости от величины расхода при отборе проб РМ. Так, при высоких значениях расхода (т. е. $\gg 10$ л/мин) более подходящими являются диаметры патрубка порядка 20 мм, тогда как при низких значениях расхода (например, 8 л/мин) целесообразнее использовать патрубки диаметром около 10 мм. Само по себе число Рейнольдса не может использоваться в качестве показателя, поскольку для минимизации гравитационных потерь требуются более высокие значения Re , а для минимизации инерционных потерь — более низкие. Общая длина зондов от наконечника пробоотборной насадки до входного отверстия устройства сепарации КЧ не должна превышать 1 м. Аналогичным образом, общая длина линии отбора проб от выхода циклонного сепаратора до наконечника держателя фильтра в целом не должна превышать 1 м.

114. В рамках ЦГ2 уже обсуждался вопрос о необходимости уделения должного внимания правильному размещению пробоотборных зондов в туннеле. Если не выдержано достаточное расстояние (т. е. более 6 диаметров воздуховода), то возможно неправильное перемешивание, особенно при низких скоростях подачи охлаждающего воздуха, и пробоотборник PM_{10} может выдать ошибку. Поэтому было предложено помещать зонд PM_{10} в нижней, а не верхней части воздуховода (рис. 10). Кроме того, поскольку $PM_{2,5}$ является подмножеством PM_{10} , оба зонда должны располагаться в одной плоскости (понизу), а не диаметрально противоположно. В этом случае, особенно при горизонтальной схеме размещения воздуховода, скорость гравитационного осаждения будет одинаковой как для $PM_{2,5}$, так и для PM_{10} .

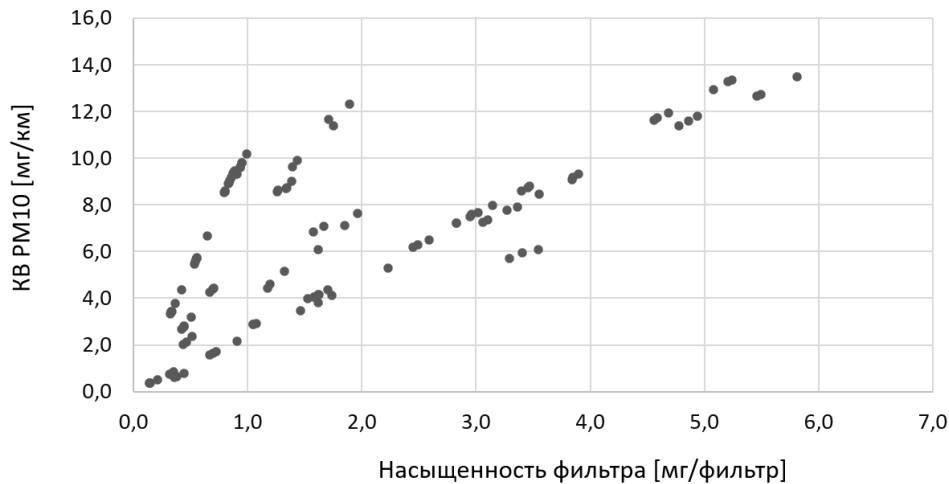
115. Для обеспечения изокINETического отбора проб PM_{10} и $PM_{2,5}$ надлежит использовать надлежащие насадки, выбор которых зависит от применяемого значения расхода воздуха в туннеле. Применительно к насадкам были введены обязательные дополнительные спецификации в соответствии со стандартом ISO 9096. Насадки — равно как и все поверхности, контактирующие с аэрозолем, — должны быть изготовлены из нержавеющей стали с электрополированной внутренней отделкой для достижения сверхчистой и ультрамелкозернистой поверхности. В отличие от тонкой механической обработки, электрополировка не сопряжена с загрязнением, искривлением металлической поверхности, стрессовым воздействием на нее и разрушением ее кристаллической структуры. Кроме того, электрополировка является идеальным решением проблемы коррозии, поскольку она позволяет удалить с поверхности воздухопроводов из нержавеющей стали примеси железа. Наконец, в порядке обеспечения изоаксиального отбора проб насадки надлежит устанавливать таким образом, чтобы их ось была параллельна оси туннеля для отбора проб, следя за тем, чтобы угол всасывания оставался меньше или равным 15° .

116. Исходя из спецификаций, описанных в предшествующих пунктах, в случае частиц диаметром 10 мкм ожидаемые потери составят менее 25 %, причем общие потери для всей фракции PM_{10} должны быть гораздо ниже.

117. Устройства отбора проб РМ. На рис. 39 представлена диаграмма зависимости показателя насыщения фильтра для отбора проб PM_{10} от объема выбросов PM_{10} по всем испытаниям, проведенным в рамках МЛИ. Из него следует, среди прочего, наличие возможной увязки между коэффициентами выбросов PM_{10} на всех уровнях и умеренной–высокой насыщенностью фильтра PM_{10} в зависимости от расхода воздуха. Кроме того, большинство испытаний по линии МЛИ были завершены при показателях насыщения фильтра PM_{10} , превышающих 1 мг, причем осаждение наибольшей фракции РМ происходило на стадии $PM_{2,5}$ – PM_{10} . Если конкретнее, то, как показывают результаты испытаний полноприводных фрикционных тормозов, показатели насыщения фильтра составляют 2,0–5,0 мг для PM_{10} и 1,0–2,0 мг для $PM_{2,5}$. Ошибки при измерении содержания РМ были зафиксированы шестью из 8 испытательных станций, использовавших импакторы; однако они не обязательно связаны именно с импакторами, поскольку имеются и другие проблемы с компоновкой. С другой стороны, шесть из восьми лабораторий, чьи измерения не грешили явными ошибками, применяли при отборе проб РМ циклонные сепараторы.

Рис. 39

Показатель насыщения фильтра PM₁₀ в мг в зависимости от объема выбросов PM₁₀ в мг/кг по всем испытаниям, проведенным в рамках МЛИ



118. Как показывает опыт, а также указывается в спецификациях ряда изготовителей импакторов, на импакторах — во избежание засорения или явления отскока — не должно накапливаться более 1 мг частиц из расчета одной стадии соударения. В ходе МЛИ по 65 % испытаний с использованием импактора были зарегистрированы высокие показатели насыщения фильтра PM₁₀ (75-й перцентиль соответствует значению в 3,9 мг/фильтр), обусловленные большой продолжительностью испытания. Это может пагубно сказаться на результатах измерения как PM₁₀, так и PM_{2,5}, особенно учитывая возможность проведения испытаний на нефрикционное торможение в условиях полноприводного фрикционного торможения. Кроме того, циклонные сепараторы меньше нуждаются в очистке, а влияние фактора загрязнения на кривую сепарации частиц не столь заметно. Исходя из этих соображений, ЦГ2 единогласно решила предусмотреть в рамках ГТП ООН обязательное использование для отбора проб PM циклонных сепараторов. Если конкретнее, то для отбора проб PM₁₀ и PM_{2,5} следует использовать одиночные циклонные сепараторы с последующими гравиметрическими фильтродержателями. Для сбора проб PM₁₀ и PM_{2,5} надлежит использовать имеющиеся в системе сбыта циклонные сепараторы с диаметром отсечки 10 мкм и 2,5 мкм соответственно. Также были определены — на примере стандарта ISO 25597:2013 — спецификации, регламентирующие эффективность сепарации с учетом диаметра частиц. Показатели эффективности были немного скорректированы с учетом сертификатов калибровки, представленных лабораториями в ходе МЛИ. Наконец, циклонные сепараторы надлежит устанавливать непосредственно на конце зонда в месте его выхода из туннеля с целью сведения к минимуму потерь и возможного загрязнения патрубков. Для предварительных классификаторов никакие спецификации не оговорены.

119. Фильтры должны быть установлены в специальном держателе. Держатель фильтра располагают как можно ближе к выходу циклонного сепаратора в целях сведения к минимуму переноса аэрозолей. Технические характеристики держателя фильтра в сборе были определены в соответствии со стандартом ISO 16000:37. Было решено, что температура на держателе фильтра должна соответствовать спецификации на весь пробоотборный тракт и всегда оставаться выше 15 °C во избежание конденсации влаги. Согласно предложению ряда участников, целесообразно обеспечить возможность многократного измерения PM, предусмотрев в держателе фильтра соответствующий переключатель. Причина возражения против такого варианта связана с применением в системе такого типа механизма разделения потока, ибо было установлено, что разделители потока оказывают негативное влияние на измерение PM₁₀. Это обусловлено более крупным размером частиц, выделяемых в результате торможения, по сравнению с любыми другими частицами, выбросы которых регулируются в автомобильной отрасли соответствующими нормами.

Использование разделителей потока сопряжено с более высокими потерями таких частиц. Поэтому установка в любом месте на участке между пробоотборным зондом и фильтром для измерения РМ разделителей потока не допускается. По линии ПИЧ можно было бы обсудить возможность разрешения — в рамках будущей поправки к ГТП ООН — на использование такой системы, если будет доказано, что потери частиц являются незначительными. Однако на настоящий момент не представлено никаких экспериментальных данных по частица более крупного размера в микронном диапазоне.

120. Пробоотборные средства. Что касается пробоотборных средств, то здесь не произошло никаких изменений по сравнению с первоначальными рекомендациями ЦГ2. Было решено использовать для измерений РМ₁₀ и РМ_{2.5} фильтры из стекловолокна с фторуглеродным покрытием или фильтры с фторуглеродной мембраной. Кроме того, были предусмотрены конкретные требования к эффективности, подлежащие подтверждению поставщиком фильтра. Данные о РМ должны подтверждаться с использованием эталонных фильтров, которые соответствуют фильтруемой среде.

121. Процедура взвешивания. Условия окружающей среды в помещении для взвешивания были изначально заданы следующим образом: температура на уровне 22 ± 1 °C и ОВ 50 ± 5 %. Как показали данные МЛИ, регулирование условий окружающей среды в помещении для взвешивания при значении температуры 22 ± 2 °C и ОВ 45 ± 8 % — по аналогии с другими правилами — не сказывается сколь-либо ощутимым образом на выбросах РМ или КЧ. Обновленные условия окружающей среды в помещении для взвешивания использовались четырьмя испытательными станциями, и всеми ими были зафиксированы приемлемые данные по РМ. Кроме того, было решено, что разрешающая способность весов должна составлять не менее 1 мкг в полном соответствии с первоначальной спецификацией ЦГ2 — рядом испытательных станций, которые не придерживались этой спецификации, были получены сомнительные результаты (не обязательно связанные с разрешающей способностью весов, поскольку имелись и другие проблемы с компоновкой). Наконец, были определены конкретные требования, предъявляемые к калибровке весов для измерения РМ. Более подробная информация о помещении для взвешивания и технических характеристиках весов приведена в тексте ГТП ООН.

122. В ходе МЛИ испытательным станциям было предписано проводить — перед выполнением процедуры первоначального взвешивания — предварительное кондиционирование фильтров в течение минимум 24 часов при стандартных условиях температуры и влажности (температура 22 ± 3 °C и ОВ 50 ± 10 %). Одна испытательная станция представила данные по использовавшимся в рамках МЛИ «холостым» фильтрам, которые в течение 3 недель хранились в чашке Петри без сколь-либо существенного изменения массы (<5 мкг). В порядке обеспечения большей степени автоматизации было рекомендовано разрешить помещать фильтры в держатели до начала этапа приработки (т. е. примерно за 24 ч до начала этапа измерения выбросов). Так, было решено проводить — перед выполнением процедуры первоначального взвешивания — предварительное кондиционирование фильтров при температуре 22 ± 2 °C и ОВ 45 ± 8 % в течение минимум 2 часов, хранить фильтры в закрытой чашке Петри (или эквивалентном сосуде) либо в герметичном держателе фильтра до проведения анализа без указания срока хранения и помещать фильтр в держатель фильтра в течение 1 часа после его извлечения из камеры для взвешивания.

123. Кроме того, испытательным станциям было настоятельно рекомендовано проводить — после отбора проб и перед выполнением процедуры окончательного взвешивания — предварительное кондиционирование фильтров в течение минимум 1 часа при стандартных условиях температуры и влажности (температура 22 ± 3 °C и ОВ 50 ± 10 %). В ходе МЛИ имели место случаи, когда насыщенные фильтры переносились в помещение для взвешивания через 150 или более часов. Рядом испытательных станций была выражена обеспокоенность по поводу столь высокой продолжительности и отсутствия определения максимально допустимого времени после испытания, в течение которого фильтры подлежат переносу в помещение для взвешивания. Поэтому было предписано переносить фильтры в камеру

кондиционирования в течение 8 часов после завершения испытания. Со стороны ряда участников прозвучала обеспокоенность в связи с тем, что такое ограничение пагубно скажется на автоматизации процедуры и не позволит захватывать проведением испытаний выходные дни. Тем не менее, группа решила следовать по пути внедрения этой спецификации во избежание риска ухудшения результатов измерений из-за потери части осажденного на фильтре материала и, в частности, полуплетучих частиц. Наконец, было решено проводить – перед выполнением процедуры окончательного взвешивания — предварительное кондиционирование фильтров при температуре 22 ± 2 °C и ОВ 45 ± 8 % в течение минимум 2 часов. Увеличение продолжительности предварительного кондиционирования не требуется, поскольку образцы тормозов, как предполагается, будут характеризоваться большей «стабильностью» по сравнению, например, с пробами отработавших газов.

124. В ходе МЛИ испытательным станциям было предписано взвешивать фильтры РМ дважды. Если разница между первым и вторым результатами измерения превышала 30 мкг, фильтр надлежало взвесить в третий раз. Если разница между вторым и третьим результатами измерения все же превышала 30 мкг, сеанс взвешивания признавался незачетным. Некоторые участники рекомендовали внести в ГТП ООН положения о поправке на статическое давление, и такой пункт на базе соответствующих спецификаций, определенных в ГТП № 15 ООН, действительно был включен. Кроме того, членами ЦГ2 была предложена и единогласно принята несколько измененная процедура взвешивания. Основное отличие по сравнению с первоначальным методом ЦГ2, использовавшимся в рамках МЛИ, состоит в том, что если разница между первым и вторым результатами измерения превышает 30 мкг, испытательная станция выполняет два дополнительных взвешивания вместо одного. В зависимости от полученных результатов существуют различные сценарии дальнейших расчетов. Более подробная информация о процедуре взвешивания и поправке на статическое давление приведена в тексте ГТП ООН.

125. Расчет выбросов РМ. В ходе МЛИ испытательным станциям было предложено регистрировать выбросы РМ испытуемыми тормозами в единицах массы на пройденное расстояние. В нынешнем варианте ГТП ООН содержится подробное описание порядка расчета выбросов РМ_{2,5} и РМ₁₀ для испытуемого тормоза по уравнениям 12.7 и 12.8, соответственно. Для целей расчетов необходимо рассчитать массу насыщенных фильтров РМ_{2,5} и РМ₁₀ в мг, средний нормализованный расход воздуха в насадках для отбора проб РМ_{2,5} и РМ₁₀ в *Нл/мин.*, средний нормализованный расход воздуха в туннеле для отбора проб в *Нм³/ч* (буква *Н* используется в тексте ГТП ООН для указания нормализованных значений, например, *Нм³/ч*) и общее расстояние, пройденное за цикл испытания тормозных механизмов на основе ВПИМ, в км. В случае испытания полноприводного фрикционного тормоза производится непосредственное (прямое) вычисление. В случае же не полностью фрикционных тормозов необходимо применение поправочного коэффициента, отражающего ожидаемую долю фрикционного торможения для транспортного средства, на котором установлен испытуемый тормоз. Этот коэффициент, именуемый «долевой коэффициент фрикционного торможения», зависит от типа транспортного средства. Расчет итоговых выбросов РМ_{2,5} и РМ₁₀ для испытуемого тормоза производится в рамках ГТП ООН по уравнениям 12.9 и 12.10, соответственно. Испытательная станция должна применять долевой коэффициент фрикционного торможения, соответствующий типу транспортного средства, параметры которого использовались при испытании тормоза. Соответствующие долевые коэффициенты для различных типов транспортных средств приведены в таблице 19. Как следует из данных МЛИ, между увеличением объема выбросов РМ и степенью рассеяния кинетической энергии наблюдается почти линейная зависимость. Если конкретнее, то увеличение количества энергии на 36 % приводит к увеличению выбросов РМ₁₀ и РМ_{2,5} на 31 % и 23 %, соответственно. Поэтому использование долевых коэффициентов фрикционного торможения, как ожидается, позволит должным образом отразить реальные объемы выбросов РМ в условиях практической эксплуатации.

Таблица 19

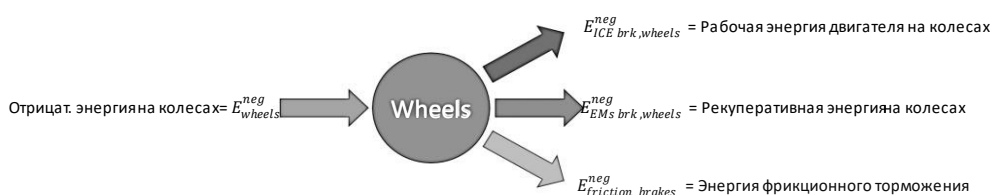
Долевые коэффициенты фрикционного торможения для всех типов транспортных средств. Номенклатуру различных типов транспортных средств см. в разделе «Определения» ГТП ООН

Тип тормоза	Тип транспортного средства	Долевой коэффициент фрикционного торможения (c)
Полноприводный фрикционный тормоз	ТС с ДВС и другие типы транспортных средств, не охватываемые категориями нефрикционных устройств торможения по настоящей таблице	1,0
Нефрикционный тормоз	ГЭМ-БЗУ кат.1	0,63
	ГЭМ-БЗУ кат.2	0,45
	ГЭМ-ВЗУ	0,30
	ПЭМ	0,15

126. Долевые коэффициенты фрикционного торможения были рассчитаны с использованием данных, полученных от участников ПИЧ. Вначале ОИЦ провел соответствующий анализ с опорой на результаты испытаний автомобилей, проведенных на динамометрическом стенде в рамках цикла ВЦИМГ. В основу методологии ОИЦ положен баланс энергии на уровне колес на протяжении цикла испытаний. При этом учитываются следующие факторы: показатели сопротивления транспортного средства, работа двигателя внутреннего сгорания (ДВС), рекуперация энергии электрического привода (ЭП) и, наконец, фрикционное торможение. В общем виде концепция представлена на рис. 40. Доля энергии, приходящейся на фрикционное торможение, рассчитывается по трем другим параметрам, которые регистрируются в ходе испытания на динамометрическом стенде. Более подробную информацию об этом методе и используемых уравнениях можно почерпнуть в отчете о работе 20-го заседания ЦГ4.

Рис. 40

Схематическое представление баланса энергии на колесах по методу ОИЦ для расчета доли, приходящейся на энергию трения



127. Помимо данных ОИЦ, другими участниками были представлены результаты измерений и моделирования, полученные с применением аналогичного подхода. Эти результаты обобщены в таблице 20 применительно к различным типам транспортных средств. Долевые коэффициенты фрикционного торможения были выведены с учетом наихудших показателей для транспортных средств по каждой категории на основе имеющихся данных. ОИЦ не проводил анализа данных, полученных на динамометрическом стенде в рамках цикла испытания тормозов на основе ВПИМ. Поэтому проблема с исходным набором данных заключалась в том, что доля, приходящаяся на фрикционное торможение, была рассчитана по другому циклу, нежели цикл испытания тормозных механизмов на основе ВПИМ. Однако МОПАП представила данные, свидетельствующие о незначительном увеличении доли, приходящейся на фрикционное торможение, при переходе от цикла ВЦИМГ (выбросы с отработавшими газами) к циклу на основе ВПИМ (выбросы при торможении) при низких долях трения и приблизительно 20-процентном увеличении — при более

высоких долях трения. Поэтому итоговые коэффициенты были выведены с применением 20-процентной поправки для учета изменения цикла (последняя колонка в таблице 20). Результаты двух проведенных ОИЦ испытаний на аккумуляторных электромобилях (ЭМ2) были отнесены к числу резко отклоняющихся значений по причине весьма высокой доли трения по сравнению с другими данными самого ОИЦ и данными третьих сторон. Как следствие, долевой коэффициент фрикционного торможения для полных электромобилей (ПЭМ) был определен на уровне 15 %. Согласно результатам испытания гибридных электромобилей с зарядкой от внешнего зарядного устройства (ГЭМ-ВЗУ) на тормозном динамометре, при полной рекуперативной способности доля, приходящаяся на энергию трения, составляет 24 %; это на 20 % меньше по сравнению с итоговым коэффициентом фрикционного торможения, определенным для ГЭМ-ВЗУ (а именно, 30 %). По гибридным электромобилям с зарядкой от бортового зарядного устройства — категории 2 (ГЭМ-БЗУ кат.2) (полный гибрид) был представлен только один результат замеров, согласно которому при полной рекуперативной способности доля, приходящаяся на энергию трения, составляет 38 % (испытание на тормозном динамометре по циклу испытания тормозов на основе ВПИМ); итоговый долевой коэффициент фрикционного торможения был установлен на уровне 45 % после 20-процентного приращения для учета указанного выше изменения цикла. Наконец, для ГЭМ-БЗУ кат.1 определен долевой коэффициент фрикционного торможения, составляющий 63 %.

128. В ходе совещания по линии ПИЧ 13 декабря 2022 года МОПАП были представлены данные, в целом свидетельствующие о более низких долевых коэффициентах фрикционного торможения. Однако этими данными, полученными от шести ИОО, не охватывается ни весь спектр представленных на рынке транспортных средств по всем ИОО, ни полный диапазон моделей транспортных средств применительно к этим шести ИОО. Кроме того, данные были представлены в таком формате, что ОИЦ не имел возможности подтвердить их точность и провести дополнительные расчеты либо выполнить перекрестную проверку на предмет соответствия остальным данным. В целях решения проблемы неточности долевых коэффициентов фрикционного торможения по линии ПИЧ будет разработана подробная методика испытаний на определение таких коэффициентов в привязке к конкретному транспортному средству для ее включения в первую поправку к настоящему ГТП.

129. Представленные в таблице 19 долевые коэффициенты фрикционного торможения также надлежит использовать при выборе базового транспортного средства семейства по критерию выбросов при торможении, когда один и тот же тормоз устанавливается на различные транспортные средства и разные типы транспортных средств. Причина использования долевого коэффициента фрикционного торможения для определения базового транспортного средства семейства по критерию выбросов при торможении кроется в необходимости испытания тормоза при параметрах транспортного средства в такой конфигурации, при которой ожидаются более высокие уровни выбросов РМ. Некоторыми участниками было предложено взять за базовое транспортное средство семейства по критерию выбросов при торможении автомобиль большей грузоподъемности, опираясь при этом на результат произведения массы транспортного средства на показатель распределения тормозных усилий; однако следствие этого стало бы испытание большинства тормозов, установленных на автомобилях различных типов, с использованием конфигурации ПЭМ. Посему потребуется еще один этап расчета для получения фактических показателей выбросов применительно к другому типу транспортного средства (например, БЗУ) — иными словами, экстраполяция значений выбросов, замеренных с использованием параметров ПЭМ, с учетом меньшей инерции при испытании. Такой этап может рассматриваться как дополнительный источник ошибок; поэтому данный вариант был отклонен рядом участников. С другой стороны, нынешним предложением обеспечивается практически неизменное проведение испытаний при параметрах транспортного средства в такой конфигурации, при которой фиксируются более высокие уровни выбросов РМ. Более подробная информация о концепции семейства приведена в тексте ГТП ООН. Следует отметить, что нынешнее определение семейств тормозных механизмов служит для

изготовителей оригинального тормозного оборудования своего рода руководством при проведении испытаний на выбросы при торможении. В следующем году намечается разработать концепцию семейств для запасных тормозов с целью ее включения в следующую версию ГТП.

Таблица 20

Долевые коэффициенты фрикционного торможения для различных транспортных средств, испытанных и проверенных ОИЦ. Серые графы указывают на транспортные средства, испытанные по линии ОИЦ на динамометрическом стенде. Белые графы указывают либо на тормоза, испытание которых проводилось на динамометрическом стенде, либо на транспортные средства, испытанные третьими сторонами, либо на результаты моделирования

Трансп. средство	Тип	Тип испытания	Цикл	Рабочая энергия двигателя [%]	Энергия рекуперативного торможения [%]	Энергия фрикционного торможения (ЭФТ) [%]	Экстраполяция ЭФТ по циклу тормозов на основе ВПИМ [%]
Аккумуляторный ЭМ1	ПЭМ	Комплектное транс. средство	ВЦИМГ	0,0	96,2	3,8	4,6
Аккумуляторный ЭМ2	ПЭМ	Комплектное транс. средство	ВЦИМГ	0,0	85,3	14,7	17,7
Аккумуляторный ЭМ2	ПЭМ	Комплектное транс. средство	ВЦИМГ	0,0	85,5	14,5	17,4
Аккумуляторный ЭМ2	ПЭМ	Комплектное транс. средство	ВЦИМГ	0,0	87,2	12,8	15,3
Аккумуляторный ЭМ3	ПЭМ	Комплектное транс. средство	ВЦИМГ	0,0	91,5	8,5	10,2
Аккумуляторный ЭМ4	ПЭМ	Тормозной динамометр	ВПИМ — тормоза	0,0	97,5	2,5	2,5
Аккумуляторный ЭМ5	ПЭМ	Тормозной динамометр	ВПИМ — тормоза	0,0	96,1	3,9	3,9
Подключаемый ГЭМ1	ГЭМ-ВЗУ	Комплектное транс. средство	ВЦИМГ	2,9	79,5	17,6	21,2
Подключаемый ГЭМ1	ГЭМ-ВЗУ	Комплектное транс. средство	ВЦИМГ	1,7	84,6	13,7	16,4
Подключаемый ГЭМ1	ГЭМ-ВЗУ	Тормозной динамометр	ВПИМ — тормоза	0,0	76,0	24,0	24,0
Подключаемый ГЭМ2	ГЭМ-ВЗУ	Комплектное транс. средство	ВЦИМГ	2,5	72,2	25,2	30,3
Подключаемый ГЭМ3	ГЭМ-ВЗУ	Моделирование	ВЦИМГ	0,0	86,1	13,9	16,7
Подключаемый ГЭМ3	ГЭМ-ВЗУ	Моделирование	ВПИМ — тормоза	0,0	82,9	17,1	17,1
Подключаемый ГЭМ4	ГЭМ-ВЗУ	Тормозной динамометр	ВПИМ — тормоза	0,0	83,0	17,0	17,0
Подключаемый ГЭМ4	ГЭМ-ВЗУ	Тормозной динамометр	ВПИМ — тормоза	0,0	83,7	16,3	16,3
Полный ГЭМ1	ГЭМ-БЗУ кат. 2	Тормозной динамометр	ВПИМ — тормоза, прогон #10	0,0	61,9	38,1	38,1

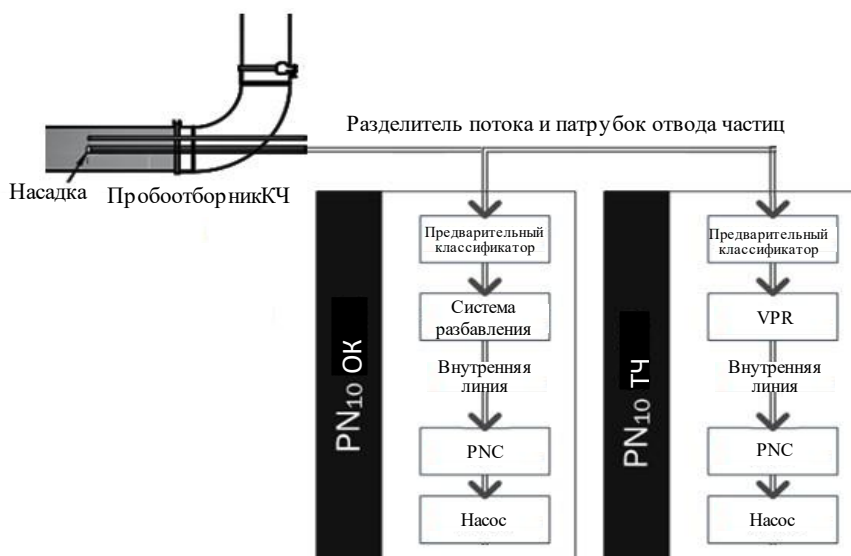
Трансп. средство	Тип	Тип испытания	Цикл	Рабочая энергия двигателя [%]	Энергия рекуперативного торможения [%]	Энергия фрикционного торможения (ЭФТ) [%]	Экстраполяция ЭФТ по циклу испытания тормозов на основе ВПИМ [%]
Средний ГЭМ1	ГЭМ-БЗУ кат. 1	Комплектное транс. средство	ВЦИМГ	13,4	38,6	48,0	57,6
Средний ГЭМ1	ГЭМ-БЗУ кат. 1	Комплектное транс. средство	ВЦИМГ	24,7	33,6	41,7	50,1
Средний ГЭМ2	ГЭМ-БЗУ кат. 1	Комплектное транс. средство	ВЦИМГ	3,5	43,8	52,8	63,3

2. Измерение концентрации КЧ

130. Минимальные базовые спецификации, регламентирующие порядок измерения КЧ, приводятся в руководстве ЦГ2; см. справочный материал [9]. В основу методологии положены соответствующие требования в отношении выбросов отработавших газов. По линии ЦГ2 были определены минимальные спецификации, касающиеся: а) плоскости отбора проб, располагаемой на расстоянии не менее 5 диаметров вниз и 2 диаметров вверх по потоку, соответственно, от любого нарушения потока; б) предварительного классификатора с диаметром отсечки от 2,5 до 10 мкм; в) линии отбора проб, спроектированной с таким расчетом, чтобы время прохождения частиц не превышало 1,5 с; г) разбавителя, откалиброванного по коэффициенту снижения концентрации частиц (КСКЧ) диаметром 15, 30, 50 и 100 нм при следующих соотношениях: $КСКЧ_{15}/КСКЧ_{100} \leq 2$, $КСКЧ_{30}/КСКЧ_{100} \leq 1,3$, $КСКЧ_{50}/КСКЧ_{100} \leq 1,2$; и е) полнопоточного счетчика количества частиц (PNC) с эффективностью подсчета частиц диаметром 10 нм на уровне 65 % (± 15 %) и частиц диаметром 15 нм на уровне >90 %. Следует иметь в виду, что все PNC представляют собой счетчики конденсации частиц (CPC), поэтому эти термины используются взаимозаменяемо (в рамках МЛИ — как правило CPC, а в Правилах — PNC). Измерение КЧ факультативно может проводиться с предварительным термостатированием пробы, что предусматривает горячее разбавление в соотношении 10:1 при температуре ≥ 150 °C, но не выше 350 °C. Никаких особых условий не предписывалось, поскольку величина гравитационных и инерционных потерь наночастиц невелика. Единственное требование касалось использования патрубков небольшой длины (например, время прохождения $< 1,5$ с) для минимизации диффузионных и агломерационных потерь. Полученные по итогам МЛИ результаты и извлеченные уроки (см. приложение) легли в основу предложения по ГТП ООН. На рис. 41 приведен пример предлагаемой для целей ГТП ООН конфигурация устройства измерения КЧ. Расположение и размеры различных элементов носят ориентировочный характер и приведены для наглядности; поэтому точное соответствие данному рисунку не обязательно. В ГТП ООН были включены четыре пункта:

- 12.2.1 в нем содержится описание порядка извлечения пробы из плоскости отбора проб;
- 12.2.2 в нем освещаются аспекты обработки и кондиционирования проб применительно к системе разбавления и отделителю летучих частиц (VPR);
- 12.2.3 в нем содержится описание счетчика количества частиц (PNC);
- 12.2.4 в нем описывается порядок расчета КЧ в выбросах.

Рис. 41
Примерная конфигурация устройства для измерения КЧ



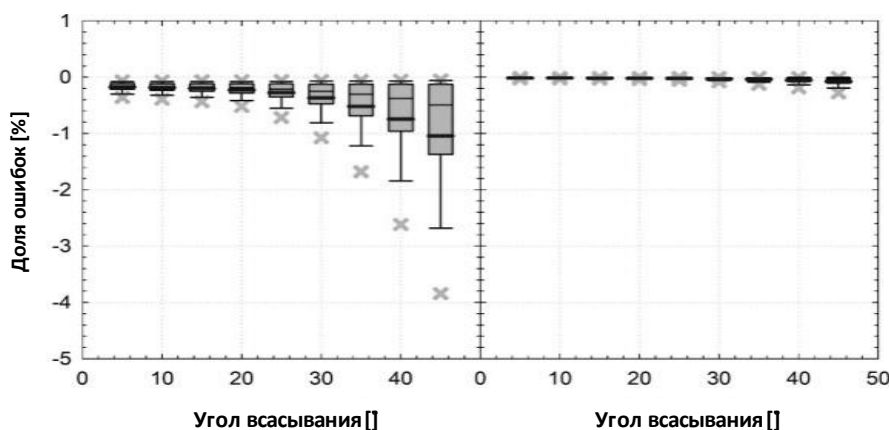
131. Руководящие указания ЦГ2 были пересмотрены с учетом опыта проведения МЛИ и теоретических оценок вклада каждого параметра в результирующие показатели КЧ. Для оценки степени влияния различных параметров на результаты измерения КЧ были рассмотрены два *сценария*:

- КЧ в выбросах $<10^{10}$ #/км, что соответствует режиму при пиковом показателе для частиц диаметром 0,8–1,5 мкм;
- КЧ в выбросах (с режимом нуклеации более высокого порядка) $>10^{10}$ #/км при пиковом показателе для частиц диаметром 10–30 нм.

132. На диаграммах с левой стороны приведенных ниже рисунков отображен 1-й сценарий влияния на показатель КЧ в выбросах. На диаграммах же с правой стороны отображен 2-й соответствующий сценарий.

133. Перенос и извлечение. На рис. 42 показана процентная доля ошибок при расчете КЧ с использованием различных значений угла всасывания применительно к двум сценариям измерения КЧ. Как видно, неизоаксиальный (анизоаксиальный) отбор проб незначительно сказывается на результатах в случае обоих сценариев ($<3\%$). Тем не менее, было решено сохранить при анизоаксиальном отборе проб максимальный угол 15° , поскольку его можно легко выставить даже на глаз. То же самое относится и к отбору проб РМ.

Рис. 42
Влияние анизоаксиального отбора проб на показатель КЧ в выбросах применительно к двум сценариям измерения КЧ. С левой стороны отображен 1-й сценарий. С правой стороны отображен 2-й сценарий



134. На рис. 43 показана процентная доля ошибок при расчете КЧ с использованием различных значений изокинетического коэффициента применительно к двум сценариям измерения КЧ. Как видно, влияние анизокинетического отбора проб не столь значимо в условиях преобладания режима нуклеации частиц (2-й сценарий). С другой стороны, в отсутствие нуклеации частиц (1-й сценарий) при коэффициентах 0,9–1,15 (как в случае РМ) влияние является незначительным (<5 %) и достигает уровня 10–15 % при отклонениях $\pm 0,4$. Поэтому было решено смягчить требование, касающееся изокинетического коэффициента, установив для последнего диапазон 0,6–1,5.

135. Влияние инерционного осаждения на изгибах во всех случаях также оценивалось как незначительное (<3 %) (рис. 44). Тем не менее был оговорен минимальный диаметр патрубка, составляющий 10 мм. Для насадки или патрубка на участке между разбавителем и РНС был установлен минимальный диаметр в 4 мм, скорее во избежание засорения, а не в целях минимизации инерционных потерь. В любом случае допускается наличие не более одного изгиба (с соответствующим радиусом кривизны).

136. В целом отмечались низкие гравитационные потери, за исключением случаев использования патрубков крупного диаметра при очень низких значениях расхода (рис. 45). Во избежание подобных случаев было решено ограничить максимальный диаметр патрубка величиной в 20 мм и установить максимальную продолжительность времени прохождения, что косвенно ограничивает минимальные значения расхода.

Рис. 43

Влияние анизокинетического отбора проб на показатель КЧ в выбросах применительно к двум сценариям измерения КЧ

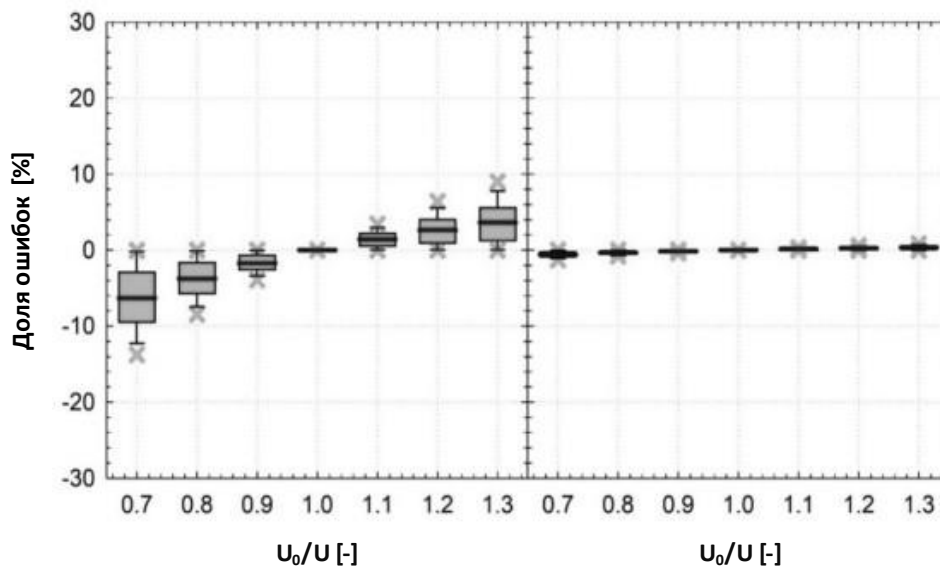


Рис. 44

Инерционное осаждение на изгибах. С левой стороны отображен 1-й сценарий

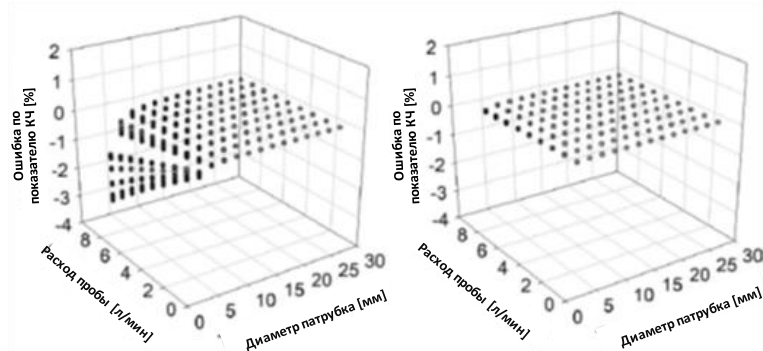
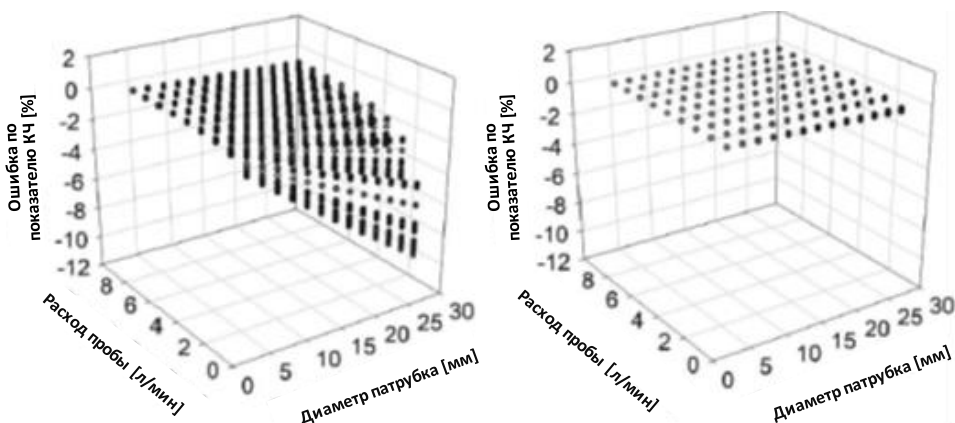


Рис. 45

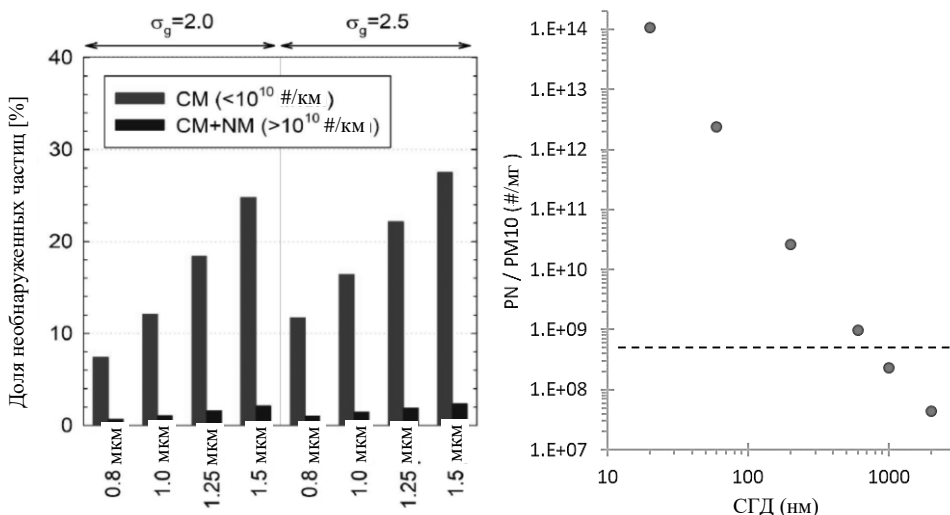
Гравитационные потери для патрубка длиной 1 м. С левой стороны отображен 1-й сценарий



137. Предварительный классификатор. Одна из поднятых изготовителями пробоора проблем заключалась в том, что микрометровые частицы могут загрязнять систему, оказывая тем самым большое влияние на точность измерений. Например, частичная закупорка диафрагмы оборачивается различными коэффициентами разбавления, причем обычные измерения давления не позволяют выявить такое изменение. На рис. 46 показано влияние предварительного классификатора с диаметром отсечки 2,5 мкм на долю обнаружения КЧ. Как видно, с увеличением размера частиц необнаруженная фракция возрастает. При пике гранулометрического состава, приходящегося на частицы диаметром >1,5 мкм, доля необнаруженных частиц может превышать 25 %. С другой стороны, видно, что наличие предварительного классификатора не столь значимо (<2 %) в условиях преобладания режима нуклеации частиц.

Рис. 46

а) Влияние предварительного классификатора с диаметром отсечки 2,5 мкм на концентрацию КЧ; б) отношение КЧ к РМ₁₀ при различных значениях среднего геометрического диаметра (СГД). Пунктирной линией показан примерный фоновый уровень при расходе в туннеле, составляющем 1000 м³/ч



138. Для целей оценки значимости потерь крупных частиц на рис. 46 (правая диаграмма) показано отношение КЧ к РМ₁₀ при различных значениях среднего геометрического диаметра (СГД) и исходя из единичной плотности. Например, при СГД = 200 нм КЧ в выбросах на уровне 2,6E10 #/км будет соответствовать массе РМ₁₀ в 1 мг/км. Для частиц размером от 1000 нм такая же масса будет соответствовать

уровню менее чем $4,3E8$ #/км, что составляет фон для установки подсчета КЧ (пунктирная линия на рис. 46 — дополнительные подробности приводятся ниже). Таким образом, при наличии ограничения по массе важность измерения КЧ при крупном гранулометрическом составе частиц является незначительной. Иными словами, количественная концентрация крупных частиц приобретает значимость только в том случае, если массовые выбросы последних очень велики [10].

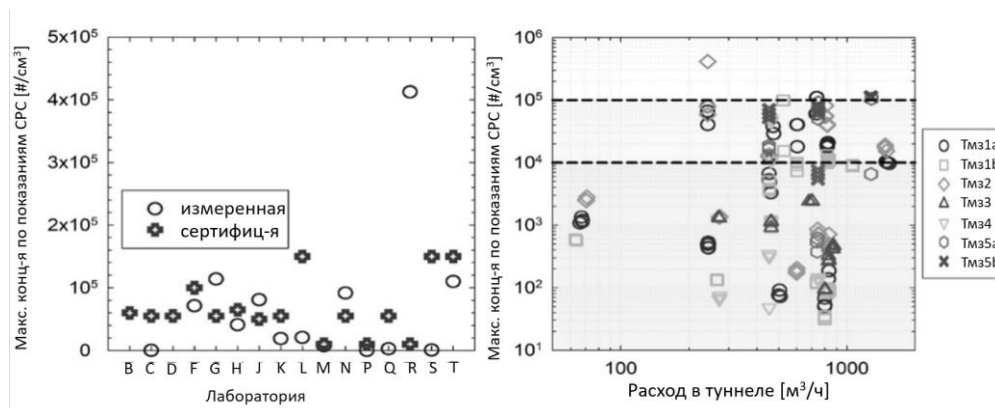
139. Фоновая концентрация КЧ. Согласно одному из выводов МЛИ, фоновая концентрация КЧ (в туннеле и системе подсчета КЧ) подчас находится на том же уровне, что и в случае выбросов при торможении (см. рис. 18). Поэтому было установлено жесткое требование, согласно которому концентрация КЧ в туннеле, измеренная с помощью системы КЧ, не должна превышать 20 #/см³. Более подробная информация приводится в пункте, касающемся очистки охлаждающего воздуха. При стандартной величине расхода в туннеле, составляющей 1000 м³/ч, предельное значение 20 #/см³ соответствует показателю $4,5E+08$ #/км, что по крайней мере на порядок ниже типичных уровней концентрации КЧ, зарегистрированных в ходе МЛИ на дисковых тормозах. Поэтому если на этапе измерения выбросов в результате торможения выдаются значения концентрации ОКЧ10 и КТЧ10, то испытательная станция не должна вычитать значения фоновой концентрации.

3. Обработка и кондиционирование проб

140. Система разбавления. Система разбавления призвана обеспечить такую концентрацию частиц на входе счетчика количества частиц (PNC), которая не превышает предел измерения при работе PNC в режиме подсчета отдельных частиц. Для большинства счетчиков PNC максимальная концентрация составляет порядка $1-5E+04$ #/см³ (рис. 47 а). На рис. 47 б) показана максимальная концентрация КЧ, измеренная в ходе МЛИ счетчиком CPC в зависимости от величины расхода в туннеле. Такие уровни концентрации соответствуют максимальной концентрации КЧ в туннеле, составляющей $1E6$ #/см³ при испытаниях с твердыми частицами и $1E7$ #/см³ — при испытаниях с летучими частицами. При подобных концентрациях необходимо разбавление в пропорции от 20:1 до 200:1. В случае же некоторых тормозов максимальная концентрация в туннеле находилась на уровне $<1E+05$ #/см³. С учетом этих показателей фона и результатов других измерений, приводимых в специализированной литературе, был установлен минимальный коэффициент разбавления 10:1 без определения верхней границы. Единственные требования, предъявляемые к системе разбавления, касаются: i) коэффициентов КСКЧ, которые остаются теми же, что и указанные в руководствах (и правилах, касающихся выбросов с обработавшими газами); и ii) температуры разбавленной пробы, которая должна составлять <38 °С. Второе требование было добавлено во избежание активного нагрева любой части системы. Установление более низкого значения температуры было сочтено нецелесообразным, поскольку температура в сатураторе счетчика PNC обычно составляет около 38–40 °С, так что там происходит некоторое испарение.

Рис. 47

а) Замеренные счетчиками CPC и сертифицированные в ходе МЛИ максимальные значения концентрации КЧ; б) максимальная концентрация ОКЧ10 в туннеле, измеренная в ходе МЛИ счетчиками CPC в зависимости от величины расхода в туннеле



141. Отделитель летучих частиц (VPR). Предварительное термостатирование системы измерения твердых частиц выполняется с соблюдением технических требований, предъявляемых к системам измерения КЧ в отработавших газах, с двумя отличиями: i) при первичном разбавлении в системе VPR для измерения параметров выбросов при торможении не требуется нагрева до 150 °С, хотя температура каталитической отгонной колонны VPR должна составлять 350 °С. Требования к эффективности удаления летучих частиц тетраоктана идентичны (т. е. удаление 99,9 % частиц тетраоктана учетным медианным диаметром >50 нм и массой >1 мг/м³) установленным для системы измерения в отработавших газах; ii) применительно к испытанию тормозных систем коэффициент первичного разбавления не определен, поскольку общий коэффициент разбавления составляет как минимум 10:1. С другой стороны, в случае систем измерения КЧ в отработавших газах требуется первичное разбавление в соотношении не менее 10:1. К патрубку отвода на участке между разбавителем или VPR и счетчиком PNC предъявляются требования, аналогичные установленным для систем измерения в отработавших газах: время прохождения не должно превышать 1 с (против 0,8 с в случае измерения в отработавших газах), а внутренний диаметр должно составлять не менее 4 мм.

142. Показатель расхода в системе разбавления или VPR не должен отклоняться в ходе испытания от среднего значения более чем на 10 %. Погрешность при измерении расхода не должна превышать 5 %, что выше величины, установленной для измерений PM (2,5 %); это обусловлено не столь большой значимостью изокINETического отбора проб для целей подсчета КЧ. Кроме того, показатель расхода в системе измерения КЧ не обязательно используется при расчете КЧ в выбросах. В случае PNC показатель расхода надлежит проверять ежемесячно с помощью калиброванного расходомера, и он должен соответствовать номинальному значения с отклонением в пределах 5 %.

143. Устройство измерения КЧ — счетчик количества частиц (PNC). В основу технических спецификаций PNC положены соответствующие спецификации счетчиков PNC для подсчета частиц в отработавших газах. Одним из важных моментов, отмеченных в ходе ряда контрольно-измерительных мероприятий, является заниженная оценка результатов подсчета частиц счетчиком PNC из-за перепадов расхода, обусловленных засорением. Поэтому предписано использование полнопоточного PNC, позволяющего регулярно контролировать расход пробы (с помощью внешнего расходомера), значение которого непосредственно учитывается при определении — на основе результатов подсчета частиц — показателей количественной концентрации. И хотя засорение также может влиять на обеспечиваемую счетчиком эффективность, это легко проверяется это на месте. Кроме того, PNC должен работать в режиме подсчета отдельных частиц, при котором достигается наивысшая точность. Эффективность подсчета обладающих

электрической подвижностью частиц номинальным диаметром 10 и 15 нм должна составлять 65 ± 15 % и более 90 %, соответственно.

144. Для проверки правильности работы счетчика PNC были предусмотрены следующие обязательные проверки: i) при проверке с использованием калиброванного расходомера измеренный расход потока, поступающего в счетчик PNC, должен соответствовать номинальному расходу счетчика PNC с отклонением ± 5 %; ii) по результатам проверки PNC при помощи нулевого газа с использованием установленного на входе PNC фильтра с надлежащими характеристиками концентрация должна составлять $\leq 0,2$ частицы на см^3 . После удаления фильтра счетчик количества частиц должен показать увеличение измеренной концентрации и возврат при замене фильтра к значению $0,2 \text{ #/см}^3$ или меньше; iii) при установленном на входе разбавителя или VPR фильтре HEPA значение концентрации, измеренной счетчиком PNC, должно составлять $< 0,5 \text{ #/см}^3$ — эту проверку проводят как до, так и после испытания тормозов на выбросы; iv) скорректированная на КСКЧ концентрация, полученная PNC, должна составлять $< 20 \text{ #/см}^3$ при измерении в туннеле со значением расхода, используемым для целей испытаний на выбросы — торможение не производится.

145. Разделение потока. Использование разделителя потока в двух системах измерения КЧ (ОКЧ10 и КТЧ10) допускается при следующих условиях: i) разделитель поддерживает угол натекания потока $< 20^\circ$ на каждом выходе; ii) обеспечиваются одинаковые скорости потока в обоих ответвлениях (в пределах 5 %); iii) обусловленные использованием разделителя потери частиц диаметром 15 нм и 1,5 мкм составляют < 5 %. Как показывает опыт калибровки счетчиков PNC, потери на разделителе частиц диаметром 15 нм не превышают 1 %, так что их влияние на результаты измерения КЧ можно считать незначительным. Испытательная станция проводит такую аттестацию один раз при первоначальной установке системы. По всей вероятности, потребуются два генератора частиц: один — для более крупных частиц (1,5 мкм) и второй — для частиц меньшего размера (15 нм).

146. Расчет КЧ в выбросах. В ходе МЛИ испытательным станциям было предложено регистрировать выбросы ОКЧ10 и КТЧ10 (в случае применимости) испытуемыми тормозами в количестве частиц на пройденное расстояние. В нынешнем варианте ГТП ООН содержится подробное описание порядка расчета выбросов ОКЧ10 и КТЧ10 по уравнениям 12.11 и 12.12, соответственно. Для целей расчетов необходимо рассчитать средние нормализованные и скорректированные на КСКЧ выбросы ОКЧ10 и КТЧ10 в #/см^3 , средний нормализованный расход воздуха в туннеле для отбора проб в $\text{м}^3/\text{ч}$ и среднюю фактическую скорость цикла испытаний тормозных механизмов на основе ВПИМ в $\text{км}/\text{ч}$ (в тексте ГТП ООН для указания нормализованных значений используется буква *H*). По аналогии с выбросами РМ, в случае испытания полноприводного фрикционного тормоза производится непосредственное (прямое) вычисление. В случае же нефрикционных тормозов необходимо применение поправочного коэффициента, отражающего ожидаемую долю фрикционного торможения для транспортного средства, на котором установлен испытуемый тормоз (таблица 19). Расчет итоговых выбросов ОКЧ10 и КТЧ10 для испытуемого тормоза производится в рамках ГТП ООН по уравнениям 12.13 и 12.14, соответственно. Испытательная станция должна применять долевого коэффициент фрикционного торможения, соответствующий типу транспортного средства, параметры которого использовались при испытании тормоза.

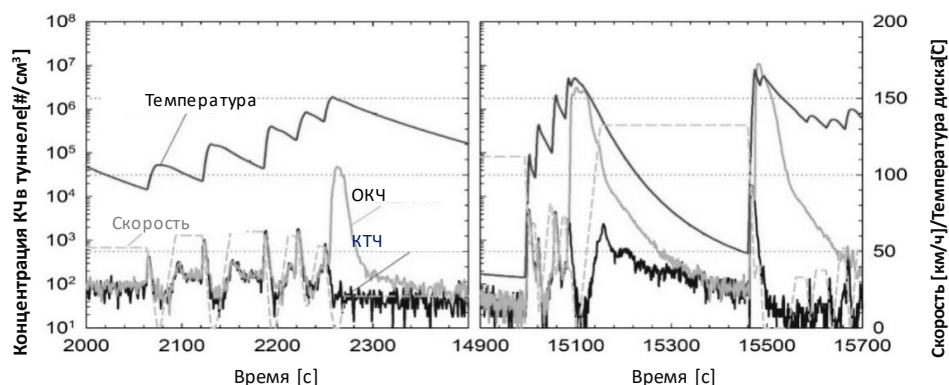
147. Как следует из данных МЛИ, чем выше степень рассеяния кинетической энергии, тем большим является объем выбросов ОКЧ10. Если конкретнее, то увеличение количества энергии на 36 % приводит к увеличению выбросов ОКЧ10 на 91 % (усредненные значения по результатам, полученным четырьмя испытательными станциями). Однако в ходе этих испытаний не отмечалось режимов нуклеации летучих частиц. Применение для каждой категории транспортных средств соответствующих коэффициентов трения предполагает линейную зависимость между КЧ в выбросах и энергией трения при торможении. И если для КТЧ10 — показателя, близкого РМ, — это можно считать верным (см. измерение РМ), то в случае ОКЧ10 это не обязательно и не всегда соответствует действительности. Как было указано МОПАП, для

подтверждения этого вывода необходимо больше данных. Вполне очевидно, что сложность возникает при наличии режима нуклеации летучих частиц, который может отсутствовать при низких энергиях трения. Такие случаи не будут должным образом охватываться коэффициентами трения. В то же время следует подчеркнуть, что при образовании летучих частиц объем выбросов увеличивается более чем на два порядка, а в предельных нормах выбросов также учитывается повышенный разброс значений. Кроме того, образование летучих частиц происходит в ходе лишь одного или двух событий торможения; поэтому важно понять, способны ли различные тормоза выделять такие частицы в условиях практической эксплуатации (например, при торможении ПЭМ с полностью заряженной аккумуляторной батареей). Следовательно, даже если коэффициенты трения в таких случаях не верны, они позволяют учесть «потенциальное» образование летучих частиц, объем которых в принципе должен быть минимальным. В дальнейшем будет собрано больше данных, что позволит внести возможные коррективы в применяемый метод.

148. На рис. 48 показана общая количественная концентрация частиц и количественная концентрация твердых частиц в ходе испытания, проведенного лабораторией Т на Тм31Fa. Как видно из диаграммы, в условиях высоких значений температуры/скорости выбросы ОКЧ10 увеличивались при остановках в конце прогона #10 в рамках цикла испытания тормозов на основе ВПИМ. Во время фактического события торможения концентрации ОКЧ10 на 3–5 порядков превышали концентрации КТЧ10. В совокупности это дает усредненный за цикл объем выбросов, 100-кратно превышающий показатель для КТЧ10.

Рис. 48

Общая количественная концентрация частиц и количественная концентрация твердых частиц в ходе испытания, проведенного лабораторией Т на Тм31Fa



149. Если для КТЧ10 воспроизводимость результатов (выражаемая коэффициентом разброса — CV) составляла 25–61 % (более подробная информация представлена в приложении), то для ОКЧ10 это значение достигало 323 % при учете всех данных. Причина кроется в наличии режима нуклеации, что может привести к расхождению результатов минимум на порядок величины. Общеизвестно, что когда компоненты тормоза (тормозной диск, тормозная колодка или обе детали) достигают определенной температуры — последняя зависит от тормозной системы, — могут выделяться летучие вещества, содержащиеся в органическом связующем материале колодки. При последующем охлаждении запускается режим нуклеации летучих частиц. Не вполне понятно, почему измерения в условиях такого режима проводились только одной лабораторией (рис. 48). Одно из объяснений кроется в процедуре приработки, при которой — вследствие охлаждения между циклами — температура не достигала высоких значений, так что надлежащего кондиционирования колодок не происходило. Другое возможное объяснение связано с коэффициентами перенасыщения в кожухе, которые зависят, среди прочего, от режима воздушного потока. Стандартизация конструкции и размеров кожуха отчасти позволит решить эту проблему. Однако для более полного уяснения сути вопроса требуется проведение дополнительных испытаний. Из вышесказанного можно сделать важный вывод, что ОКЧ10 надлежит

рассматривать как индикатор потенциального образования летучих частиц с сопутствующим высоким значением воспроизводимости.

150. Калибровка. Требования к калибровке соответствуют стандартным процедурам, прописанным в других правилах (например, касающихся выбросов с отработавшими газами). Техническое обслуживание и калибровку обычно требуется проводить ежегодно. Большая часть соответствующего раздела посвящена требованиям, предъявляемым к калибровке PNC, системы разбавления и VPR. В основу текста положены положения правил, касающихся выбросов с отработавшими газами. Единственное отличие заключается в том, что для целей калибровки PNC дополнительно допускается использование частиц серебра. На настоящий момент в рамках группы ПИЧ не сложилось какого-либо мнения относительно данного калибровочного материала. В целях установления (при необходимости) материала, характерного для частиц, выделяемых в результате торможения, и подходящего в качестве калибровочного, нужны дополнительные исследования. Детально сформулированные требования к калибровке приведены в тексте ГТП ООН.

Приложение

Обобщенные результаты МЛИ

1. Введение. В ходе межлабораторного исследования (МЛИ) были проведены испытания четырех систем дисковых тормозов и одной системы барабанного тормоза в различных конфигурациях. В таблице А-1 перечислены параметры транспортного средства и пяти испытанных тормозов. Тмз1а — это эталонный тормоз с типичной колодкой по стандарту ЕЭК, а Тмз1б — его разновидность с бесасбестовой органической фрикционной колодкой (БАО). Тмз2 и Тмз3 — это стандартные дисковые тормоза большего чем эталонный тормоз размера. Тмз4 — это барабанный тормоз, устанавливаемый на задней оси малогабаритного легкового автомобиля. Тмз5а и Тмз5б представляют собой типичные тормоза транспортного средства категории N1, испытание которых проводилось при различных условиях нагрузки (0 % и 90 % от максимальной полезной нагрузки). В таблице А-2 в общем виде представлен итоговый план проведения испытаний.

Таблица А-1
Характеристики испытанных тормозов

ИД тормоза	Ось	Испытатель- ная масса ТС [кг]	Инерция при испытании [кг·м ²]	Радиус качения шины [мм]	Фрикционный материал	Соотношение WL _{m-f} /DM [-]
Тмз1Fa	Передняя	1 600	49,3	315	ЕЭК	88,1
Тмз1Fb	Передняя	1 600	49,3	315	БАО	88,1
Тмз2	Передняя	1 668	50,8	321	ЕЭК	44,6
Тмз3	Передняя	2 623	112,1	383	ЕЭК	50,7
Тмз4	Задняя	1 253	16,1	314	–	44,7
Тмз5La	Передняя	2 500	86,7	345	ЕЭК	90,1
Тмз5Lb	Передняя	3 390	117,6	345	ЕЭК	122,1

Таблица А-2
Итоговый план проведения испытаний в рамках МЛИ. Серые графы
соответствуют запланированным, но не завершенным испытаниям

	Тмз1Fa	Тмз1Fb	Тмз2	Тмз3	Тмз4	Тмз5La	Тмз5Lb	Повторя- емость	Приработка по альтер- нативной процедуре
Лаб. В	√	√	√	√				√	√
Лаб. С	√	√	√	√					
Лаб. D	√	√	√		√				
Лаб. F	√	√	√	√	√	√	√		
Лаб. G	√	√	√			√	√		
Лаб. H	√	√	√						
Лаб. J	√	√	√						
Лаб. К	√	√	√					√	
Лаб. L	√	√	√	√				√	√
Лаб. М	√	√	√	√	√	√	√	√	

	<i>Tm31Fa</i>	<i>Tm31Fb</i>	<i>Tm32</i>	<i>Tm33</i>	<i>Tm34</i>	<i>Tm35La</i>	<i>Tm35Lb</i>	Повторя- емость	Приработка по альтер- нативной процедуре
Лаб. N	√	√	√	√	√	√	√		√
Лаб. P	√	√	√						
Лаб. Q	√	√	√					√	
Лаб. R	√	√	√						
Лаб. S	√	√	√	√					
Лаб. T	√	√	√		√				
Лаб. X	√	√	√			√	√		

2. О своей заинтересованности в участии в МЛИ заявили 17 испытательных станций. Поскольку лаборатория X не успела вовремя подготовиться к серии испытаний по намеченной программе, ее отстранили от участия в МЛИ. С другой стороны, лаборатории В и Q сообщили о значительных погрешностях измерений, связанных с регулированием работы динамометрического стенда и общей схемой испытаний. Как следствие, они просили не учитывать их результаты в последующем анализе. Испытание Tm31 и Tm32 являлось обязательным для всех испытательных станций. Проверка же остальных тормозов, использование альтернативной процедуры приработки и проведение испытаний на повторяемость носили добровольный характер.

3. Основные спецификации, регламентирующие процесс испытания для целей МЛИ, были подготовлены ЦГ2 и опубликованы на веб-сайте ПИЧ 14 июля 2021 года [см. справочный материал 9]. Испытательным станциям было предложено скрупулезно следовать данным спецификациям, чего, однако, не произошло, поскольку — как было установлено — испытательные станции допустили отход от одного или нескольких из установленных технических требований. В таблице А-3 отражены основные несоответствия, зафиксированные в ходе МЛИ на основе заявления каждой станции.

Таблица А-3

**Важнейшие параметры, не соответствующие спецификациям ЦГ2.
Несоответствия, выделенные жирным шрифтом, касаются параметров, больше имеющих отношение к погрешностям измерений РМ/КЧ**

<i>Испытат. станция</i>	<i>Важнейшие несоответствия</i>
Лаб.-В	Нарушения скоростного режима, фон на уровне системы, регулирование климатического режима работы стенда, разрешающая способность микровесов, ненадлежащее кондиционирование фильтров, покрытие подложки импактора, точка отсечки предварительного классификатора, отклонение показателей расхода воздуха
Лаб.-С	Регулирование с частотой 1 Гц климатического режима работы стенда (ОВ), ориентация суппорта, применение цикла при низком показателе работы сил трения , место измерения расхода воздуха, один фильтр для трех измерений РМ₁₀ — РМ_{2,5}
Лаб.-D	Нарушения скоростного режима, фон на уровне системы, регулирование климатического режима работы стенда, разрешающая способность микровесов, ориентация суппорта , ненадлежащее кондиционирование фильтров, неиспользование системы разбавления, продолжительность цикла, непроведение измерения РМ_{2,5}

<i>Испытат. станция</i>	<i>Важнейшие несоответствия</i>
Лаб.-F	Фон на уровне системы, регулирование с частотой 1 Гц климатического режима работы стенда (ОВ), направление вращения диска, ориентация суппорта , несоответствие техническим требованиям к помещению для взвешивания, обеспечиваемый разделителем угол натекания потока РМ
Лаб.-G	Температура при начальных прогонах, неиспользование системы разбавления, место измерения расхода воздуха, отклонение показателей расхода воздуха
Лаб.-H	Фон на уровне системы, несоответствие техническим требованиям к помещению для взвешивания, разрядник, разрешающая способность микровесов , ненадлежащее кондиционирование фильтров, неиспользование системы разбавления
Лаб.-J	Несоответствие техническим требованиям к помещению для взвешивания, покрытие подложки импактора , ненадлежащее кондиционирование фильтров, неиспользование системы разбавления
Лаб.-K	Ориентация суппорта, расположение плоскости отбора проб (0D) , неиспользование системы разбавления, неиспользование рекомендуемых подложек импактора
Лаб.-L	Ориентация суппорта, расположение плоскости отбора проб (5,5D) , несоответствие техническим требованиям к помещению для взвешивания, место измерения расхода воздуха, отклонение показателей расхода воздуха
Лаб.-M	Ориентация суппорта , неиспользование эталонных фильтров, ненадлежащее кондиционирование фильтров, несоответствие техническим требованиям к помещению для взвешивания
Лаб.-N	
Лаб.-P	Температура при начальных прогонах, фон на уровне системы, ориентация суппорта , место измерения расхода воздуха, применение цикла при низком показателе работы сил трения
Лаб.-Q	Температура при начальных прогонах, комбинация пробоотборник/фильтр , отклонение показателей расхода , применение цикла при низком показателе работы сил трения
Лаб.-R	Температура при начальных прогонах, фон на уровне системы, неиспользование эталонных фильтров, разрядник , неиспользование системы разбавления, точка отсечки предварительного классификатора , один фильтр для трех измерений РМ₁₀
Лаб.-S	Несоответствие техническим требованиям к помещению для взвешивания
Лаб.-T	Температура при начальных прогонах, неиспользование эталонных фильтров, разрешающая способность микровесов

4. Основные цели межлабораторного исследования сводятся к следующим рабочим аспектам:

- проверить осуществимость и применимость установленных спецификаций, регламентирующих отбор проб и измерение выбросов частиц при торможении (разработаны по линии ЦГ2);
- представить ЦГ2 рекомендации по дальнейшему улучшению и/или расширению набора установленных спецификаций;
- изучить вопрос обеспечения повторяемости и воспроизводимости результатов измерения выбросов РМ и КЧ на базе установленных спецификаций;
- изучить вопрос обеспечения повторяемости и воспроизводимости конкретных условий испытания на базе установленных спецификаций;

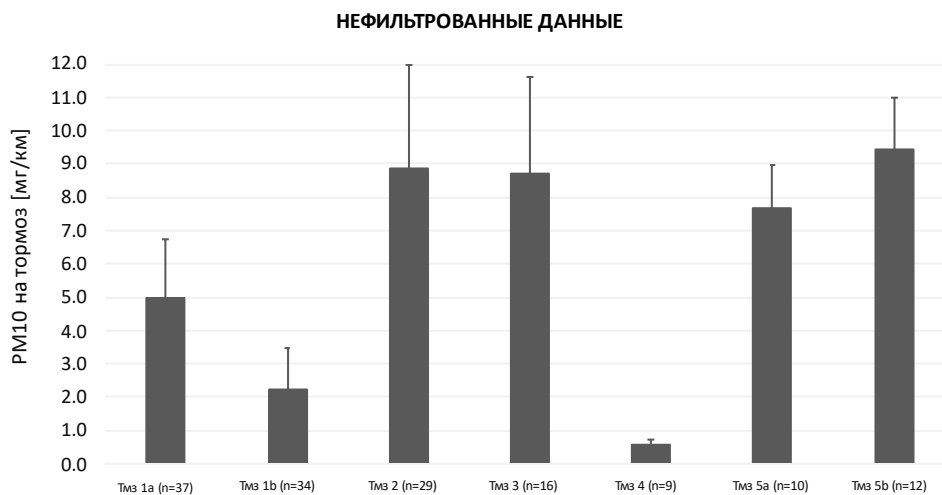
- предложить альтернативные подходы, позволяющие повысить эффективность некоторых из предложенных методов и спецификаций (в частности, процедуру приработки).

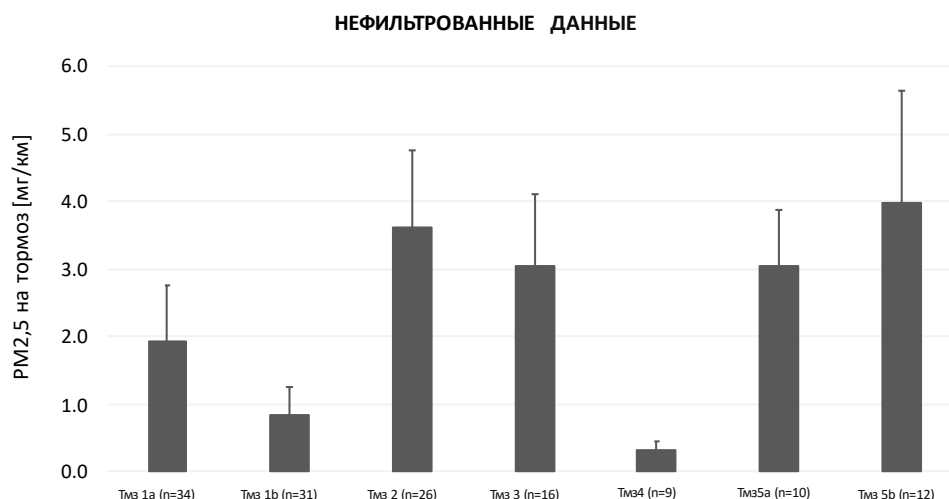
5. Измерение РМ. На рис. А-1 обобщены результаты проведенных всеми испытательными станциями измерений выбросов РМ_{2,5} и РМ₁₀ для всех испытуемых тормозов. Как отмечается, объем выбросов, производимых эталонным тормозом, в среднем составляет 5,0 мг/км на одно торможение, тогда как для тормоза с фрикционной колодкой БАО данный показатель равняется примерно 2,2 мг/км. Тмз2 и Тмз3 характеризуются схожими уровнями выбросов РМ₁₀ порядка 9,0 мг/км на одно торможение в повороте. Барабанный же тормоз характеризуется гораздо более низким уровнем выбросов РМ₁₀ — в пределах 0,5 мг/км. Наконец, в случае тормозов автомобилей категории N1 с увеличением полезной нагрузки происходит практически линейное увеличение выбросов РМ₁₀.

6. Аналогичные тенденции наблюдаются и применительно к выбросам РМ_{2,5}. Объем выбросов, производимых эталонным тормозом, почти вдвое превышает данный показатель для тормоза с фрикционной колодкой БАО. Барабанный тормоз характеризуется гораздо более низким уровнем выбросов РМ_{2,5} по сравнению с дисковыми тормозами. В случае тормозов автомобилей категории N1 увеличение полезной нагрузки на 36 % приводит к почти 25-процентному увеличению объема выбросов РМ_{2,5}. Для всех испытанных дисковых тормозов соотношение РМ_{2,5}/РМ₁₀ составляет, как правило, 35–42 %, тогда как для барабанного тормоза оно значительно выше (до 60 %).

Рис. А-1

Полученные всеми испытательными станциями результаты измерений выбросов РМ₁₀ (верхняя диаграмма) и РМ_{2,5} (нижняя диаграмма) для всех испытуемых тормозов. По просьбе испытательных станций данные, поступившие от лабораторий В и Q, отражены не были. Строки ошибок представляют собой стандартное отклонение результата измерения





7. В таблице А-4 в обобщенном виде представлены результаты измерений выбросов РМ, а также указан разброс в их измерениях. Разброс в измерениях РМ₁₀ — определяемый как отношение стандартного отклонения к среднему показателю РМ₁₀ — варьируется в пределах от 17 % до 35 %. Эти значения считаются приемлемыми, учитывая общие рамки несоответствия испытательных станций требованиям протокола, как видно из таблицы А-3. Ожидается, что с введением более жестких спецификаций, регламентирующих измерение массы РМ, — наряду с обязательным соблюдением испытательными станциями положений протокола после введения в действие ГТП ООН — разброс в измерениях РМ₁₀ значительно снизится.

Таблица А-4

Полученные всеми испытательными станциями результаты измерений выбросов РМ_{2,5} и РМ₁₀ для всех испытуемых тормозов. Также указаны соотношение РМ_{2,5}/РМ₁₀ и скорость изнашивания

	<i>Тмз1a</i>	<i>Тмз1b</i>	<i>Тмз2</i>	<i>Тмз3</i>	<i>Тмз4</i>	<i>Тмз5a</i>	<i>Тмз5b</i>
РМ ₁₀ [мг/км]	5,0	2,2	8,9	8,7	0,5	7,7	9,4
СКО [мг/км]	1,8	1,2	3,1	2,9	0,2	1,3	1,6
Разброс в измерениях	35 %	54 %	35 %	34 %	31 %	17 %	17 %
Количество измерений	37	34	29	16	9	10	12
РМ _{2,5} [мг/км]	1,9	0,8	3,6	3,1	0,3	3,0	4,0
СКО [мг/км]	0,8	0,4	1,1	1,1	0,1	0,9	1,7
Разброс в измерениях	42 %	52 %	32 %	34 %	33 %	28 %	42 %
Количество измерений	34	31	26	16	9	10	12
Потеря массы [мг/км]	14,9	4,9	20,9	23,7	2,3	16,1	19,3
СКО [мг/км]	1,9	2,4	2,1	1,3	1,8	1,7	1,0

	<i>T_{мз1a}</i>	<i>T_{мз1b}</i>	<i>T_{мз2}</i>	<i>T_{мз3}</i>	<i>T_{мз4}</i>	<i>T_{мз5a}</i>	<i>T_{мз5b}</i>
Разброс в измерениях	12,9 %	48,2 %	10,0 %	5,5 %	76,3 %	10,3 %	5,1 %
Количество измерений	10	9	8	4	3	4	3
Соотношение $PM_{2,5}/PM_{10}$	39 %	37 %	41 %	35 %	61 %	40 %	42 %

8. *T_{мз1b}* характеризуется гораздо большим разбросом значений по сравнению с другими тормозами (54 %); однако это объясняется свойствами материалов тормоза, которым присуще аномальное «поведение» в плане выбросов. Если конкретнее, то три испытательные станции зарегистрировали средний показатель PM_{10} в $0,6 \pm 0,2$ мг/км (при потере массы $1,8 \pm 0,2$ мг/км), тогда как аналогичный показатель, зарегистрированный семью другими испытательными станциями, составлял $3,0 \pm 0,7$ мг/км (при потере массы $6,5 \pm 0,9$ мг/км). С практической точки зрения *T_{мз1b}* «ведет себя» так, как если бы речь шла о двух разных тормозах, что подкрепляется анализом потери его массы. ОИЦ не удалось подтвердить идентичность *T_{мз1b}*, использовавшихся всеми испытательными станциями; поэтому сделать какой-либо вывод относительно разброса в измерениях PM применительно к данному конкретному тормозу не представляется возможным. Однако было решено сделать измерение потери массы обязательным, поскольку это дает полезную информацию об испытуемом тормозе и может оказаться полезным при оценке итогов контрольно-измерительного мероприятия. Как явствует из полученных результатов, цель обеспечения повторяемости и воспроизводимости измерений на определение потери массы уже сейчас вполне достижима.

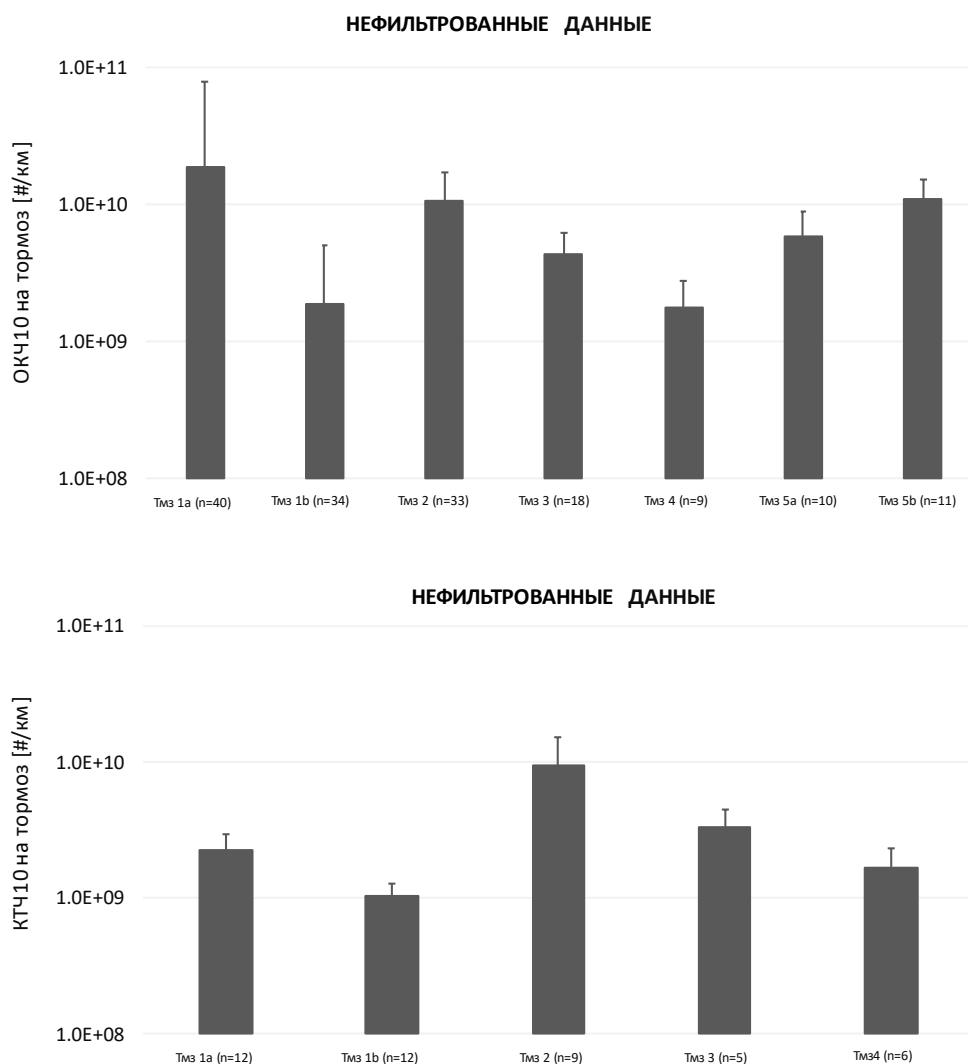
9. Как явствует из таблицы А-4, уровень разброса в измерениях $PM_{2,5}$ аналогичен отмечаемому при измерениях PM_{10} . Немного более высокий разброс имел место в случае *T_{мз1a}* и *T_{мз5b}*; однако это объясняется тремя измерениями с получением резко отклоняющихся значений (два измерения на *T_{мз1a}*, проведенные лабораторией М, и одно — на *T_{мз5b}*, проведенное лабораторией G). И опять же, больший разброс в измерениях для *T_{мз1b}* обусловлен явлением, о котором говорилось выше. Если конкретнее, то три испытательные станции зарегистрировали средний показатель $PM_{2,5}$ в $0,3 \pm 0,1$ мг/км (при потере массы $1,8 \pm 0,2$ мг/км), тогда как аналогичный показатель, зарегистрированный семью другими испытательными станциями, составлял $0,9 \pm 0,2$ мг/км (при потере массы $6,5 \pm 0,9$ мг/км). В целом ожидается, что с введением более жестких спецификаций разброс в измерениях $PM_{2,5}$ значительно снизится.

10. Измерение КЧ. На рис. А-2 обобщены результаты проведенных всеми испытательными станциями измерений выбросов ОКЧ10 и КТЧ10 для всех испытуемых тормозов. Как отмечается, объем выбросов, производимых эталонным тормозом, в среднем составляет $1,9E+10$ #/км на одно торможение; однако в случае этого тормоза лабораторией Т было зарегистрировано выделение летучих частиц, что привело к увеличению общего среднего значения, а также повышению разброса в измерениях. В ходе МЛИ никакой другой испытательной станцией не отмечалось образование летучих частиц — ни в случае *T_{мз1a}*, ни какого-либо другого тормоза. Дисковый тормоз с фрикционной колодкой БАО, наряду с барабанным тормозом, характеризуются наиболее низким уровнем выбросов ОКЧ10 — в пределах $2,0E+09$ #/км на одно торможение. *T_{мз2}* характеризуется сравнительно высоким уровнем выбросов ОКЧ10, составляющим порядка $1,1E+10$ #/км на одно торможение в повороте. Наконец, в случае тормозов автомобилей категории N1 увеличение полезной нагрузки на 36 % приводит к почти 90-процентному увеличению объема выбросов ОКЧ10. Однако при наличии лишь единичных данных измерений невозможно сделать однозначный вывод относительно взаимосвязи между инерцией при испытании и выбросами ОКЧ10. Для прослеживания и установления такой взаимосвязи — либо доказательства ее отсутствия — требуются дополнительные данные.

11. Применительно к выбросам КТЧ10 наблюдаются несколько иные тенденции. Объем выбросов, производимых эталонным тормозом, является гораздо более низким ввиду отсутствия летучих частиц. Тормоз с фрикционной колодкой БАО характеризуется значительно более низким уровнем выбросов КТЧ10 по сравнению с другими дисковыми тормозами; так, из всех испытанных тормозов самый низкий показатель был зафиксирован для Тмз1b. И опять же, Тмз2 характеризуется самым высоким уровнем выбросов КТЧ10, составляющим порядка $9,3E+09$ #/км на одно торможение в повороте, что не дотягивает до нормативного предела для выбросов с отработавшими газами более чем на порядок. Барабанный же тормоз в целом характеризуется низким объемом выбросов КТЧ10, равно как низкими значениями всех других измеренных параметров. В случае тормозов автомобилей категории N1 проанализировать влияние увеличения полезной нагрузки на выбросы КТЧ10 не представлялось возможным, поскольку лабораториями F, G, M и N не проводились измерения КТЧ10 на этих тормозах. В будущем для прослеживания и установления взаимосвязи между инерцией при испытании и выбросами КТЧ10 — либо доказательства ее отсутствия — потребуется наличие соответствующих данных.

Рис. А-2

Полученные всеми испытательными станциями результаты измерений ОКЧ10 (верхняя диаграмма) и КТЧ10 (нижняя диаграмма) для всех испытуемых тормозов. По просьбе испытательных станций данные, поступившие от лабораторий В и Q, отражены не были. Строки ошибок представляют собой стандартное отклонение результата измерения



12. В таблице А-5 в обобщенном виде представлены результаты измерения КЧ в выбросах. Разброс в измерениях ОКЧ10 варьируется в пределах от 36 % до 323 %. Тмз1а характеризуется наибольшим разбросом значений (323 %) по причине зарегистрированных лабораторией Т выбросов летучих частиц. В случае Тмз1b также отмечается высокий разброс в измерениях, обусловленный аномальным режимом выбросов при торможении, о котором говорилось в предшествующих пунктах. Если исходить из двух различных блоков данных по выбросам для Тмз1b, то разброс замеров ОКЧ10 составляет от 31,6 % до 35,8 %, соответственно. Эти значения считаются приемлемыми, учитывая общие рамки несоответствия испытательных станций требованиям протокола, как видно из таблицы А-3. Ожидается, что с введением более жестких спецификаций, регламентирующих измерение КЧ, — наряду с обязательным соблюдением испытательными станциями положений протокола после введения в действие ГТП ООН — разброс в измерениях ОКЧ10 значительно снизится.

13. Что касается летучих частиц, то, как со всей очевидностью продемонстрировало МЛИ, для изучения и уяснения процесса их выделения требуется больше данных. Первое, что бросается в глаза: следствием присутствия летучих частиц является крайне высокий — неприемлемый — разброс в измерениях; и этот аспект весьма важен, ибо от летучих частиц (в случае их наличия) напрямую зависит общий объем выбросов ОКЧ10, тогда как выделяются они лишь при ограниченном круге единичных событий торможения. Поэтому в высшей степени важно обеспечить в рамках ГТП ООН возможность измерения таких частиц с целью уяснения механизма их выделения, а также анализа того, насколько широко такое явление присуще тормозам, представленным в настоящее время на рынке.

14. Как явствует из таблицы А-5, разброс в измерениях КТЧ10 значительно ниже по сравнению с отмечаемым при измерениях ОКЧ10. Гораздо более низкий разброс значений наблюдался в случае эталонного тормоза, что совершенно нормально, поскольку при измерении КТЧ10 не производился замер летучих частиц. Тмз1b, несмотря на неоднозначность присущего ему режима выбросов при торможении, характеризуется низким разбросом в измерениях (величина разброса сопоставима с отмечаемой для выбросов ОКЧ10 с учетом двух блоков данных). В случае Тмз2, Тмз3 и Тмз4 разброс в измерениях КТЧ10 сопоставим с аналогичным показателем по ОКЧ10 для тех же тормозов. К сожалению, оценить разброс в измерениях КТЧ10 для Тмз5 не удалось по причине отсутствия результатов соответствующих замеров. И опять же ожидается, что с введением более жестких спецификаций разброс в измерениях КТЧ10 удастся ограничить.

Таблица А-5

Полученные всеми испытательными станциями результаты измерений ОКЧ10 и КТЧ10 в выбросах для всех испытуемых тормозов. Также указан разброс в измерениях

	<i>Тмз1а</i>	<i>Тмз1b</i>	<i>Тмз2</i>	<i>Тмз3</i>	<i>Тмз4</i>	<i>Тмз5а</i>	<i>Тмз5b</i>
ОКЧ10 [#/км]	1,9E+10	1,9E+09	1,1E+10	4,4E+09	1,8E+09	5,8E+09	1,1E+10
СКО [#/км]	6,1E+10	3,2E+09	6,7E+09	1,9E+09	1,0E+09	3,1E+09	4,1E+09
Разброс в измерениях	322,9 %	169,8 %	62,0 %	43,0 %	58,3 %	53,0 %	36,0 %
Количество измерений	40	34	33	18	9	10	11
КТЧ10 [#/км]	2,2E+09	1,0E+09	9,3E+09	3,3E+09	1,7E+09	Д/Н	Д/Н
СКО [#/км]	6,8E+08	2,6E+08	5,7E+09	1,1E+09	6,3E+08	Д/Н	Д/Н

	<i>T_{мз1a}</i>	<i>T_{мз1b}</i>	<i>T_{мз2}</i>	<i>T_{мз3}</i>	<i>T_{мз4}</i>	<i>T_{мз5a}</i>	<i>T_{мз5b}</i>
Разброс в измерениях	30,9 %	25,3 %	61,0 %	32,3 %	37,8 %	Д/Н	Д/Н
Количество измерений	12	12	9	5	6	0	0

Справочные материалы

- [1] Grigoratos, T.; Giechaskiel, B. Preliminary analysis on PM data from the ILS. PMP Web Conference 29.03.2022.
<https://wiki.unece.org/display/trans/PMP+Web+Conference+29.03.2022>
- [2] Agudelo et al. 2020. High-fidelity modelling and characterization of dynamometer enclosure interactions using a DOE approach for brake emissions measurements. 50-е совещание ПИЧ — 3–4 апреля 2020 года.
<https://wiki.unece.org/display/trans/PMP+50th+Session>
- [3] [https://wiki.unece.org/display/trans/PMP+39th+session - PMP-39-02 NEPE - Driving Conditions Summary Report.pdf](https://wiki.unece.org/display/trans/PMP+39th+session+PMP-39-02+NEPE+Driving+Conditions+Summary+Report.pdf)
- [4] Mathissen M., Grochowicz J., Schmidt C., Vogt R., Zum Hagen F., Grabiec T., Steven H., Grigoratos T.; A novel real-world braking cycle for studying brake wear particle emissions; Wear, Volumes 414–415, 2018, 219–226, <https://doi.org/10.1016/j.wear.2018.07.020>
- [5] Mathissen M., Grochowicz J., Schmidt C., Vogt R., Zum Hagen F., Grabiec T., Steven H., Grigoratos T.; WLTP-based Real-World Brake Wear Cycle, Mendeley Data 1 (2018), <https://doi.org/10.17632/dkp376g3m8.1>
- [6] ЕЭК ООН (2020 года) — Неофициальный документ GRPE-81-12 (2020 год). (ПИЧ) Протокол по выбросам в результате торможения — часть 1. URL: <https://www.unece.org/trans/main/wp29/wp29wgs/wp29grpe/grpeinf81.html>
- [7] Grigoratos, T.; Agudelo, C.; Grochowicz, J.; Gramstat, S.; Robere, M.; Perricone, G.; Sin, A.; Paulus, A.; Zessinger, M.; Hortet, A.; et al. Statistical Assessment and Temperature Study from the Interlaboratory Application of the WLTP–Brake Cycle. Atmosphere 2020, 11, 1309
- [8] Hesse, D.; Hamatschek, C.; Augsburg, K.; Weigelt, T.; Prahst, A.; Gramstat, S. Testing of Alternative Disc Brakes and Friction Materials Regarding Brake Wear Particle Emissions and Temperature Behaviour. Atmosphere 2021, 12, 436.
<https://doi.org/10.3390/atmos12040436>
- [9] Протокол ПИЧ для тормозных механизмов — testing specifications.pdf — Минимальные спецификации для измерения и определения характеристик выбросов при торможении — URL: <https://wiki.unece.org/display/trans/PMP+Web+Conference+15.07.2021>
- [10] Grigoratos, T.; Mamakos, A.; Arndt, M.; Lugovy, D.; Anderson, R.; Hafenmayer, C.; Moisis, M.; Vanhanen, J.; Frazee, R.; Agudelo, C.; Giechaskiel, B. Characterization of Particle Number Setups for Measuring Brake Particle Emissions and Comparison with Exhaust Setups. Atmosphere 2023, 14, 103. <https://doi.org/10.3390/atmos14010103>