



---

## **Европейская экономическая комиссия**

### **Комитет по внутреннему транспорту**

#### **Всемирный форум для согласования правил в области транспортных средств**

##### **164-я сессия**

Женева, 11–14 ноября 2014 года

Пункт 14.2 предварительной повестки дня

**Рассмотрение АС.3 проектов ГТП и/или проектов  
поправок к введенным ГТП и голосование по ним –**

**Предложение по поправке 3 к Глобальным  
техническим правилам № 4 (всемирная процедура  
сертификации двигателей большой мощности (ВСБМ))**

### **Предложение по техническому докладу о разработке поправки 3 к Глобальным техническим правилам (ГТП) № 4**

#### **Представлено Рабочей группой по проблемам энергии и загрязнения окружающей среды\***

Воспроизводимый ниже текст был принят GRPE на ее шестьдесят девятой сессии (ECE/TRANS/WP.29/GRPE/69, пункт 18 и добавление 2). В его основу положено добавление 2 к докладу. Этот текст представлен на рассмотрение Всемирному форуму для согласования правил в области транспортных средств (WP.29) и Административному комитету (АС.3).

---

\* В соответствии с программой работы Комитета по внутреннему транспорту на 2012–2016 годы (ECE/TRANS/224, пункт 94, и ECE/TRANS/2012/12, подпрограмма 02.4) Всемирный форум будет разрабатывать, согласовывать и обновлять правила в целях улучшения характеристик транспортных средств. Настоящий документ представлен в соответствии с этим мандатом.



## I. Введение

1. Применение ГТП № 4 в отношении двигателей, устанавливаемых на обычных транспортных средствах, можно охарактеризовать как независимую от конкретного транспортного средства процедуру сертификации. При разработке всемирной согласованной процедуры сертификации двигателей большой мощности (процедуры испытания ВСБМ) использовались реальные образцы большегрузных транспортных средств для создания репрезентативного цикла испытания транспортных средств (ВСЦТС). Циклы испытания двигателей (всемирный согласованный переходный цикл (ВСПЦ) и всемирный согласованный устойчивый цикл (ВСУЦ)), определенные на основе ВСЦТС, не зависят от конкретного транспортного средства, нацелены на воспроизведение типичных условий вождения в Австралии, Соединенных Штатах Америки, Японии и Европе и, как было доказано, успешно воспроизводят эти условия.

2. Для двигателей, устанавливаемых на гибридных транспортных средствах, гибридная система предлагает более широкий диапазон рабочих режимов, так как двигатель не всегда обеспечивает мощность, необходимую для непосредственного приведения в движение автомобиля. Поэтому на основе реальных образцов гибридных транспортных средств никакой репрезентативный цикл испытания определить невозможно. Наряду с этим, для того чтобы сертификация двигателя удовлетворяла требованию в отношении репрезентативности цикла испытания двигателя в контексте режима работы реального двигателя гибридного транспортного средства, необходимо рассматривать работу всего транспортного средства.

3. Таким образом, процесс сертификации этих двигателей является в меньшей степени независимым от конкретного транспортного средства по сравнению с двигателями, устанавливаемыми на обычных большегрузных автомобилях. Процесс сертификации, который зависит от конкретного транспортного средства и применяется к легковым автомобилям, неприемлем для большегрузных транспортных средств из-за значительного числа комплектаций транспортного средства. В данной связи испытания на динамометрическом стенде не рассматриваются в качестве приемлемой сертификации или официального утверждения типа, и по этой причине были разработаны две альтернативные процедуры испытания, учитывающие полную конфигурацию гибридного транспортного средства. Для облегчения испытаний и исключения необходимости вводить классы транспортных средств требуемые параметры транспортного средства были использованы в качестве производной от номинальной мощности гибридной системы с учетом предположения о наличии оптимальной корреляции между тягой, массой и прочими параметрами транспортного средства. Поэтому для подтверждения такого подхода использовались данные об обычных транспортных средствах.

4. Хотя программа задания режима работы двигателя на динамометре в ходе испытания ВСПЦ не квалифицируется как репрезентативная для двигателей, устанавливаемых на гибридных транспортных средствах, программа задания режима работы транспортного средства в ходе испытания ВСЦТС была изменена для обеспечения большего соответствия требованиям ВСПЦ в отношении тяги. Это было сделано с помощью введения параметров транспортного средства в качестве производной от номинальной мощности гибридной системы. В результате нагрузки на системы обычных и гибридных транспортных средств будут сопоставимыми.

5. Разработанные процедуры испытаний приведены в приложениях 9 и 10 соответственно. Обе процедуры испытаний должны учитывать работу всего гибридного транспортного средства в рамках испытания на официальное утверждение типа или сертификацию для отражения режима работы двигателя в реальных условиях эксплуатации. Поэтому обе процедуры нацелены на отражение испытаний на динамометрическом стенде, в ходе которых:

- a) при использовании метода аппаратно-программного моделирования (АПМ) производится моделирование транспортного средства и его элементов и полученная модель подсоединяется к фактическому(им) электронному(ым) блоку(ам) управления (ЭБУ);
- b) при испытании силовой установки все элементы присутствуют в аппаратном обеспечении и лишь недостающие элементы системы на этапе передачи тяги от силовой установки (например, конечная передача, колеса и шасси) моделируются блоком управления на испытательном стенде для получения информации о режиме работы данного типа двигателя в целях официального утверждения типа или сертификации.

## II. Параметры транспортных средств

6. Режим работы двигателей, устанавливаемых на гибридных транспортных средствах, зависит от всей конфигурации транспортного средства, и поэтому для определения характерного режима работы двигателя разумно использовать только полную конфигурацию. Как указывалось ранее, характеристики большегрузных транспортных средств могут различаться весьма значительно даже при сохранении одинаковой номинальной мощности их силовых установок. Испытания и сертификация каждой конфигурации транспортного средства (с различными передаточными числами конечной передачи, радиусом шин, аэродинамическими особенностями) не представляются возможными, поэтому требуется ввести репрезентативные параметры транспортных средств. На пятнадцатой сессии неофициальной рабочей группы по большегрузным гибридным транспортным средствам (БГТС) (см. документ HDH-15-06e.pdf)<sup>1</sup> было решено, что эти обобщенные параметры транспортных средств будут зависеть от номинальной мощности гибридной силовой установки. Речь идет об основном средстве согласования требований к системам в контексте испытаний обычных и гибридных двигателей, как это указано в главе IV.

7. Уравнение, описывающее отношение мощности транспортного средства к его массе, позаимствовано в японских стандартах, касающихся характеристик транспортных средств. Масса транспортного средства в снаряженном состоянии, площадь фронтальной поверхности, аэродинамическое сопротивление и сопротивление качению рассчитываются в соответствии с уравнениями, приведенных в регламенте Кокудзикан № 281. Помимо этих параметров, определяющих нагрузку на дорогу для дополнения общих характеристик транспортных средств были введены следующие параметры: общий радиус шины и передаточное число конечной передачи как производная радиуса шины, а также режим полной нагрузки двигателя. Они, возможно, и не являются репрезентативными для каждого отдельного транспортного средства, однако из-за наличия различных категорий транспортных средств в каждом из регионов (Япо-

<sup>1</sup> Размещен по адресу: [https://www2.unece.org/wiki/download/attachments/12943378/HDH-15-06\\_e.pdf?api=v2](https://www2.unece.org/wiki/download/attachments/12943378/HDH-15-06_e.pdf?api=v2).

ния/Соединенные Штаты Америки (США)/Европейский союз (ЕС)) согласование категорий транспортных средств было сочтено весьма проблематичным и, вероятно, привело бы к появлению неодинаковых категорий в каждом регионе, а это на практике осложнило бы и затруднило процедуру сертификации.

8. Поскольку программа задания режима работы гибридного транспортного средства в ходе испытания ВСЦТС была определена как функция номинальной мощности гибридной системы, параметры транспортного средства не нацелены главным образом на определение нагрузки на систему. Расхождения между обобщенными и фактическими параметрами транспортного средства не имеют сколь-либо негативных последствий для сертификации. В контексте предлагаемых процедур испытания нагрузка на систему определяется с помощью итерации параметров транспортного средства, профиля его скорости в ходе испытания ВСЦТС и уклона дороги, которые устанавливаются таким образом, чтобы они соответствовали нагрузке на систему в ходе испытания ВСЦТС, которое эквивалентно по мощности двигателя обычного транспортного средства (см. главу IV).

9. Преимущества введения обобщенных параметров транспортных средств можно обобщить следующим образом:

- a) В настоящих ГТП нагрузка на систему при испытании гибридных транспортных средств может быть разумным образом согласована с данными испытаний обычных двигателей. Расхождения между обобщенными и фактическими параметрами транспортных средств несколько не влияют на процедуру сертификации. Поэтому выбросы загрязняющих веществ и предельные параметры двигателя, а также программа испытания транспортного средства считаются сопоставимыми по смыслу главы IV.
- b) Процедуру сертификации, независимую от конкретного транспортного средства и схожую с программой испытаний ВСПЦ для двигателей обычных транспортных средств, можно ввести и для гибридных силовых установок. Это позволит изготовителю устанавливать сертифицированные силовые установки на любое транспортное средство и сократит число необходимых испытаний.

### **III. Разработка программы задания режима работы транспортного средства в ходе испытания ВСЦТС**

10. В рамках группы по БГТС было решено, что официальное утверждение типа и процедура сертификации в контексте выбросов загрязняющих веществ из двигателей, устанавливаемых на гибридных транспортных средствах, должны быть адекватным образом согласованы с процедурами испытания, указанными для двигателей, устанавливаемых на обычных транспортных средствах. Для этого требуется согласовать программу задания режима работы двигателя ВСПЦ с программой задания режима работы транспортного средства при испытании ВСЦТС, так как программу задания режима работы двигателя нельзя напрямую применить к силовой установке гибридного транспортного средства; впрочем, ее применение к последней не является целесообразным.

11. Таким образом, программа задания режима работы транспортного средства была разработана с таким расчетом, чтобы обычное транспортное средство могло быть испытано с использованием либо программы задания режима работы двигателя, либо программы задания режима транспортного средства, причем

результаты обоих испытаний на выбросы должны быть сопоставимыми. И хотя были установлены обобщенные параметры транспортных средств, потребляемая мощность для ВСПЦ и ВСЦТС по-прежнему различается и, следовательно, сколь-либо сопоставимых результатов в плане выбросов ожидать не приходится. От прямого совмещения графиков распределения мощности по времени пришлось отказаться, поскольку график мощности ВСПЦ включает заранее определенные последовательности переключения передач в конкретные периоды времени. Было сочтено, что требовать для гибридных транспортных средств тех же последовательностей переключения передач, которые применяются в случае обычных транспортных средств поколения ВСПЦ, нецелесообразно, так как переключение передач следует производить таким же образом, как это делается в реальных условиях эксплуатации. Предлагаемые методы испытания гибридных транспортных средств позволят учесть эти реальные причины переключения передач.

12. Таким образом, изложенные выше соображения обуславливают согласование графиков распределения мощности по времени ВСПЦ и ВСЦТС, при котором возможны кратковременные различия в контексте потребления мощности; наряду с этим совпадает общая мощность, выраженная проделанной работой, и обеспечивается аналогичный температурный режим. В программе задания режима работы транспортного средства значения уклона дороги были определены для согласования проделанной работы в контексте ВСЦТС и ВСПЦ. В сочетании с обобщенными параметрами транспортных средств значения уклона дороги корректируют нагрузку на систему в случае гибридного двигателя с конкретной номинальной мощностью в рамках программы задания режима работы ВСЦТС таким образом, чтобы она была эквивалентной нагрузке на двигатель с такой же номинальной мощностью, испытываемый при ВСПЦ. Кроме того, считается, что программа задания режима работы транспортного средства предусматривает репрезентативный объем отрицательной работы, а это крайне важно для гибридных транспортных средств.

13. Для согласования работы ВСЦТС и ВСПЦ необходимо использовать графики распределения нормализованных исходных значений ВСПЦ по времени, которые могут быть легко денормализованы путем указания номинальной мощности соответствующей системы. В общей процедуре денормализации значений ВСПЦ учитывается конфигурация режима полной нагрузки двигателя и, следовательно, достигаются различные результаты даже при одинаковых значениях номинальной мощности. Поскольку невозможно без труда получить график полной нагрузки для гибридных транспортных средств и нецелесообразно производить денормализацию значений ВСПЦ по той причине, что значения частоты вращения меньше, чем частота вращения двигателя на холостых оборотах, потребовались исходные значения ВСПЦ, зависящие лишь от номинальной мощности.

14. Наиболее явная посылка сводилась к использованию графика распределения нормализованной мощности по времени первоначальной программы задания режима работы транспортного средства ВСЦТС, составленного в ходе общемирового исследования характеристик большегрузных коммерческих транспортных средств в реальных условиях эксплуатации. Вместе с тем дополнительные исследования показали, что этот метод больше не обеспечивает репрезентативности для денормализованных значений ВСПЦ в случае типовых двигателей. Это обусловлено, главным образом, используемыми моделями трансмиссии и переключения передач, а также модификациями, которые требовались в процессе разработки ВСПЦ. Вместе с тем для решения этой проблемы был разработан усредненный ВСПЦ на основе денормализации значений

циклов ВСПЦ для 15 различных двигателей и их последующей нормализации по номинальной мощности. Полученный таким образом график распределения нормализованной мощности во времени репрезентативен для распределения мощности на коленчатом вале двигателя и был утвержден изготовителями оригинального оборудования и согласован в рамках неофициальной рабочей группы GRPE по большегрузным гибридным транспортным средствам (БГТС).

15. Для расчета значений мощности на ступице колеса, которая является единственной приемлемой точкой для сопоставления данных о потреблении мощности на обычных и гибридных транспортных средствах, усредненные значения мощности ВСПЦ были уменьшены с учетом удвоенного общего КПД 0,95 для коробки передач и конечной передачи. Это позволяет построить исходный график распределения значений мощности на ступице колеса, которые могут быть легко денормализованы посредством номинальной мощности любой системы, и получить исходную кривую работы и времени работы в рамках цикла.

16. Значения уклона дороги служат для корректировки данных о потреблении мощности, полученных на основе профиля скорости ВСЦТС, и значений дорожной нагрузки на транспортное средство, полученных на основе обобщенных параметров транспортного средства, с учетом кривой времени работы по усредненному ВСПЦ. Их рассчитывают на основе корректировки фактических условий эксплуатации транспортного средства с учетом условий, в которых проводились измерения при испытании транспортных средств поколения ВСПЦ в реальных условиях эксплуатации, в том числе их корректировки в процессе разработки ВСПЦ. Значения уклона дороги используются для адаптации нагрузки, с тем чтобы воспроизводилась полезная нагрузка на транспортное средство и профиль дороги на каждом конкретном этапе цикла испытания.

17. Для создания ВСПЦ использовались данные о всемирных испытаниях 12 различных репрезентативных транспортных средств. Каждый набор данных представлен в одном конкретном подразделе цикла, который называется минициклом и продолжается с момента полной остановки транспортного средства до момента остановки в контексте программы задания режима работы транспортного средства ВСЦТС. В ходе проведения измерений зафиксированное значение потребления тяговой мощности для каждого транспортного средства было нормализовано к номинальной мощности его двигателя и наложено на нормализованный график распределения мощности по времени ВСЦТС. Поскольку все транспортные средства характеризовались различными соотношениями мощности двигателя к массе транспортного средства (и другим параметрам, определяющим дорожную нагрузку) и этот график распределения мощности по времени служил основой для ВСПЦ, каждый двигатель, испытанный на динамометрическом стенде, имел такие же характеристики, как в том случае, если он обеспечивал бы тягу для транспортного средства, полезная нагрузка которого изменяется 12 раз за цикл испытания (при каждой полной остановке). Это, разумеется, приемлемо, так как цикл испытания ВСПЦ охватывает типовые операции двигателя, которые репрезентативны для большого числа транспортных средств.

18. Были обозначены обобщенные параметры транспортных средств, что позволило получить один конкретный набор данных, определяющих дорожную нагрузку (массу транспортного средства, массу в снаряженном состоянии и т.д.), который, по всей видимости, не включает по умолчанию изменение значений полезной нагрузки. Поскольку и при добавлении полезной нагрузки, и при добавлении положительного уклона дороги происходит увеличение нагрузки на

систему, значения уклона дороги выбирались таким образом, чтобы, помимо всего прочего, они имитировали различную полезную нагрузку. В соответствии с описанными корреляциями это позволяет получить 12 различных значений уклона дороги – по одному конкретному значению для каждого миницикла, однако первую корректировку необходимо произвести во время замедления транспортного средства для получения верного значения энергии, доступной для рекуперации в гибридных транспортных средствах.

19. С учетом того, что уклон дороги представляет собой увеличение (или уменьшение) полезной нагрузки во время приведения в движение транспортного средства, во время замедления его необходимо корректировать. Ниже приведен надлежащий пример.

20. Положительное значение уклона дороги соответствует более тяжелому транспортному средству, которое во время ускорения потребляет больше тяговой мощности. Во время торможения более тяжелое транспортное средство сможет также произвести рекуперацию большего объема энергии, однако в том случае, если будет по-прежнему сохранено соответствующее положительное значение уклона дороги (которое представляет лишь дополнительную полезную нагрузку), потенциал рекуперации энергии в ходе торможения будет снижен. В отличие от периода приведения транспортного средства в движение во время замедления более тяжелое транспортное средство характеризуется отрицательным значением уклона дороги, и, поскольку применяемое значение репрезентативно для требуемой полезной нагрузки, необходимо просто поменять его алгебраический знак с плюса на минус. Участки, где требуется применение инвертированных значений уклона дороги, могут определяться отрицательным или нулевым потреблением тяговой мощности в контексте усредненных ВСПЦ и ВСЦТС (при использовании динамических показателей транспортных средств относительно продольной оси, профиля скорости ВСЦТС и обобщенных параметров транспортных средств). Периоды, протяженность которых меньше или равна трем секундам, не учитываются или согласуются во избежание появления прерывистой модели смены значений уклона дороги, которая не повлияла бы на энергетические показатели, но серьезно ухудшила бы дорожные качества автомобиля.

21. Применение описанных значений уклона дороги позволяет согласовать рабочие циклы ВСПЦ и ВСЦТС, хотя это согласование и является отчасти недостаточным. Это объясняется не тем, что значения уклона дороги неприменимы для корректировки значений полезной нагрузки (которые вполне эффективно применяются для решения этой задачи), а тем, что на определенных участках, фиксируемых при реализации профиля скорости и мощности ВСЦТС, транспортное средство не движется по плоской поверхности. Поэтому для согласования ВСПЦ и ВСПЦ – в дополнение к полезной нагрузке – необходимо также учитывать реальный уклон дороги.

22. Участки, где при измерениях, производившихся в процессе разработки ВСПЦ, учитывались значения уклона дороги, даже при отсутствии информации могут быть определены с учетом несоответствий мощности между усредненными ВСПЦ и ВСЦТС при применении значений уклона дороги, которые репрезентативны для различных полезных нагрузок (с использованием динамических показателей транспортного средства относительно продольной оси, профиля скорости ВСЦТС и обобщенных параметров транспортного средства). Для обеспечения их учета некоторые из 12 минициклов необходимо далее разбить на подпункты. Это надлежит сделать на участках, где наблюдаются явные расхождения между профилями мощности усредненных ВСПЦ и ВСЦТС.

23. Для определения значений уклона дороги (при различной полезной нагрузке) концепция 12 минициклов остается действенной. Для учета реальных значений уклона дороги разница между потреблением мощности в рамках усредненных ВСПЦ и ВСЦТС, когда полезная нагрузка представляется с помощью значений уклона дороги, вновь переводится в добавочное значение уклона дороги для соответствующих участков. Эта процедура обеспечивает весьма эффективное согласование ВСПЦ и ВСЦТС, но предполагает корректировку принципа инвертированного уклона по отношению к этим конкретным участкам для получения репрезентативного значения энергии рекуперации гибридных транспортных средств. Поскольку теперь значение уклона дороги отражает сочетание полезной нагрузки и реального уклона дороги, оно не может также легко, как и ранее, напрямую инвертироваться на этих конкретных участках. Если исходить из того, что дорожные условия вряд ли изменяются всякий раз, когда транспортное средство начинает замедляться, то инвертируется только значение уклона дороги, отражающее массу. Результаты использования этого метода показали, что данный цикл испытания позволяет получить репрезентативное значение количества энергии рекуперации и что график распределения работы по времени можно весьма эффективно согласовать с ВСПЦ.

24. Описанный метод требует расчета модели смены значений уклона дороги по каждой номинальной мощности для правильного согласования ВСПЦ и ВСЦТС. От исследований при фиксированном значении уклона, рассчитываемом на базе средних номинальных мощностей, пришлось отказаться. Тем не менее концепция фиксированного значения уклона была введена в измененном виде для упрощения процедуры расчета и исключения потребности в дополнительном программном обеспечении, а также для гарантирования оптимального практического применения ГТП. Она основывается на усредненном значении уклона, которое рассчитывается с использованием значений номинальной мощности 60–560 кВт, что согласно обобщенным параметрам транспортных средств соответствует массе 3,5–60 тонн.

25. Для компенсации погрешности в согласовании мощности и работы различных ВСПЦ и ВСЦТС при использовании усредненного значения уклона был разработан полномасштабный подход. Поскольку ВСПЦ, параметры транспортного средства и значения уклона дороги в контексте ВСЦТС зависят от номинальной мощности, при применении фиксированного значения уклона возникает погрешность. Ввод квадратного многочлена для компенсации этой погрешности позволяет легко применять ГТП на практике без дополнительного программного обеспечения и без ощутимых потерь в точности.

#### **IV. Концепция проделанной системой работы**

26. Ограничения по выбросам для двигателей, используемых на обычных большегрузных транспортных средствах, определяются по выбросам на киловатт-час проделанной работы. Это удобная система единиц для двигателей, используемых на большегрузных транспортных средствах, так как они оснащены лишь одним устройством преобразования энергии в тягу, а именно двигателем внутреннего сгорания; поэтому работу, проделанную двигателем за рабочий цикл, можно легко рассчитать по значениям частоты вращения и крутящего момента, напрямую замеренных на испытательном стенде для двигателя.

27. Как указывалось выше, разработка гибридного цикла нагрузки для транспортного средства как сочетания скоростного цикла, параметров транспортных средств и значений уклона дороги основывалась на том факте, что потребление

тяговой мощности, обеспеченное в контексте цикла, весьма близко к значению потребления за цикл работы двигателя ВСПЦ. Однако гибридные транспортные средства могут обеспечивать необходимую тяговую мощность с помощью двух отдельных устройств преобразования энергии. Гибридные транспортные средства могут рекуперировать часть этой преобразуемой в тягу энергии путем накопления энергии во время замедления транспортного средства. Для обеспечения соответствия испытаниям двигателей, которые используются на обычных большегрузных транспортных средствах и у которых произведенная двигателем работа равна работе двигателя, преобразованной в тягу, в контексте гибридных большегрузных транспортных средств, необходимо также учитывать не только работу двигателя, но и работу, затраченную на приведение транспортного средства в движение за рабочий цикл.

28. В рамках рабочей группы БГТС было решено, что в качестве основы для расчета значений выбросов должна использоваться произведенная гибридной системой за рабочий цикл работа, которая была преобразована в тягу, поскольку такой подход позволяет произвести объективное сопоставление обычных и гибридных силовых установок. Эту преобразованную в тягу работу, произведенную гибридной системой за рабочий цикл, называют работой системы.

29. Поскольку при определении тяговой мощности не существует универсальной контрольной точки (подобной коленчатому валу обычного двигателя), которая была бы применимой для всех возможных комплектаций гибридных систем, за общую контрольную точку, которую следует применять для гибридных систем, была принята ступица колеса. Для обеспечения согласованности с испытанием двигателей, которые используются на обычных большегрузных транспортных средствах и тяговая мощность которых измеряется напрямую на коленчатом валу двигателя, но требует корректировки с поправкой на КПД коробки передач и конечной передачи для получения значения тяговой мощности на ступице колеса, была введена концепция виртуального двигателя внутреннего сгорания.

30. Это означает, что основные исходные значения потребления мощности определяются на коленчатом валу виртуального двигателя с использованием двух обобщенных значений КПД 0,95 для получения потребления мощности на ступице колеса. В противном случае сопоставление двигателей обычных большегрузных транспортных средств и гибридных силовых установок было бы несовершенным, поскольку тогда использовались бы две различные контрольные точки силовых установок транспортных средств и преобразованная в тягу работа на ступице колеса была бы ниже, чем преобразованная в тягу работа на коленчатом валу двигателя обычных транспортных средств. Эта концепция коленчатого вала виртуального двигателя и обобщенных значений КПД используется в рамках всей процедуры – при определении значений уклона дороги ездового цикла, номинальной мощности гибридной системы и тому подобных расчетах, – что обеспечивает соответствие испытания двигателей, используемых на обычных большегрузных транспортных средствах, испытанию двигателей, используемых на гибридных большегрузных транспортных средствах.

31. В рамках метода АПМ (приложение 9) тяговая мощность на ступице колеса служит стандартным выходным параметром имитационной модели, который должен быть конвертирован в значение на коленчатом валу виртуального двигателя путем деления на два обобщенных КПД. Кроме того, это значение корректируется с поправкой на расхождения между исходной работой за рабочий цикл, полученный в результате моделирования, и фактической работой двигателя, замеренной на испытательном стенде для двигателя.

32. В рамках метода силовых установок (приложение 10) тяговая мощность на ступице колеса служит тем же стандартным выходным параметром имитационной модели, который должен быть конвертирован в значение на коленчатом вале виртуального двигателя путем деления на два обобщенных КПД. В отличие от метода АПМ в данном случае значения тяговой мощности не нуждаются в дальнейшей корректировке, поскольку двигатель сразу же совершает рабочий цикл, причем вся гибридная система установлена на испытательном стенде для двигателя и отсутствуют какие-либо промежуточные дополнительные шаги, которые предусматривали бы использование результатов моделирования в качестве исходного входного цикла для испытания на испытательном стенде для двигателя.

33. В основу разработки данной концепции – начиная от испытательного цикла и заканчивая работой системы, используемой для расчета выбросов на финальном этапе, – был положен тот факт, что потребление тяговой мощности за испытательный цикл весьма приближается к потреблению в цикле испытания двигателя ВСПЦ. Поэтому существующие предельные значения выбросов следует также рассматривать в качестве достоверных и следует допускать сопоставление выбросов из двигателей и из гибридных силовых установок с аналогичной номинальной мощностью, используемых для приведения в движение одного и того же транспортного средства.

34. Разработанная концепция обеспечивает сопоставимость различных типов гибридных систем и позволяет получить обоснованные результаты по различным типам гибридных систем. Однако использование цикла ВСПЦ с исходной скоростью транспортного средства, который отражает усредненный всемирный профиль большегрузных транспортных средств, может привести к неблагоприятным результатам в плане выбросов из некоторых гибридных транспортных средств, предназначенных преимущественно для эксплуатации в городских условиях.

35. Потенциальные варианты решения этой проблемы усложнили бы процесс официального утверждения типа по выбросам, поскольку потребовалось бы конкретное испытание гибридных силовых установок с учетом их профиля либо применение к определенным частям испытательного цикла весовых коэффициентов, и ограничили бы использование гибридных силовых установок одним конкретным типом транспортных средств вместо их применения независимо от типа транспортного средства. Кроме того, для целей применения ГТП № 4 понадобилось бы определить набор классов транспортных средств с конкретными ограничениями, связанными, например, с вождением исключительно в черте города, с максимальной скоростью и максимальной массой транспортного средства.

36. Кроме того, в случае введения конкретного испытания гибридных силовых установок с учетом их назначения или весовых коэффициентов для определенных частей цикла испытания потребление мощности за ездовой цикл, равно как и всю процедуру по гибридным силовым установкам, уже нельзя было бы сопоставлять с процедурой, применяемой в отношении двигателей, используемых на обычных большегрузных транспортных средствах. Поэтому рабочая группа по БГТС не рассматривала вопрос о введении конкретного испытания с учетом профиля или весовых коэффициентов для определенных частей цикла испытания в качестве возможного решения этой проблемы.

## V. Определение номинальной мощности

37. Процедуры испытания двигателей, устанавливаемых на обычных транспортных средствах (программа задания режима работы двигателя ВСПЦ), а также гибридных систем (программа задания режима работы транспортного средства ВСЦТС) были согласованы в контексте потребления мощности и работы. Для этого были определены параметры транспортного средства и значения уклона дороги в качестве производных номинальной мощности, как это указано в главах II и III. Это обеспечивает одинаковую нагрузку для гибридных систем и обычных двигателей в рамках соответствующих процедур испытания.

38. Если номинальная мощность двигателя внутреннего сгорания хорошо известна и поддается определению, то мощность гибридных систем может варьироваться с течением периода испытания в зависимости от таких параметров, как объем перезаряжаемой энергоаккумулирующей системы (ПЭАС), допустимая пиковая мощность, степень зарядки (СЗ), температурные ограничения их элементов и т.д. Простое суммирование значений номинальной мощности элементов не считается приемлемым для определения номинальной мощности гибридной системы по многим причинам, поэтому репрезентативное значение номинальной мощности для соответствующей гибридной системы должно определяться в ходе процедуры испытания на номинальную мощность. Кроме того, эта процедура должна быть применимой в рамках обоих методов испытания гибридных систем, как это определено в приложениях 9 и 10, и при проведении испытания обычного транспортного средства следует вычислять мощность установленного двигателя внутреннего сгорания.

39. Для определения потенциала гибридной системы был отобран ряд стандартных ездовых маневров, включая ускорения при полной нагрузке с разными начальными скоростями и с применением различных нагрузок. Такой подход репрезентативен для режимов работы при управлении "изнутри" и для режимов работы, реализуемых в контексте ВСПЦ/ВСЦТС. В соответствии с концепцией работы всей системы и ходом разработки программы задания режима работы транспортного средства ВСЦТС общей контрольной точкой для определения номинальной мощности транспортных средств, основанных на любых концепциях, служит ступица колеса. В случае обычного транспортного средства значение мощности, зафиксированное на ступице колеса, из-за потерь на этапе трансмиссии будет ниже значения мощности двигателя внутреннего сгорания, поэтому для учета этой особенности потребуется корректировка с поправкой на стандартные значения КПД согласно положениям глав III и IV.

40. Таким образом, для расчета номинальной мощности гибридной системы, характерной для любой ее комплектации, значение мощности, зафиксированное на ступице колеса, делится на  $0,95^2$ . Хотя коэффициент  $0,95$ , возможно, и не является репрезентативным для каждого конкретного транспортного средства, это не имеет значения, поскольку все действия по согласованию в отношении программ испытания и работы системы основываются на данных по контрольной точке на ступице колеса. Обобщенные значения КПД были введены лишь для того, чтобы в случае обычного транспортного средства обеспечить перенос значений потребления мощности ВСПЦ на колесо в качестве исходной точки.

41. Было решено, что для определения максимальной производительности гибридной системы перед началом реализации каждого сценария испытания эта система должна находиться в прогретом исходном состоянии при достаточном количестве доступной энергии (СЗ > 90% от используемого диапазона). Вместе с тем проведение испытания, при котором за максимальную производитель-

ность принимается характерная номинальная мощность, может привести к тому, что полученная таким образом программа задания режима работы транспортного средства ВСЦТС будет требовать больше мощности, чем сможет обеспечить транспортное средство в тот или иной момент в рамках цикла. Это может быть обусловлено ограничениями гибридной системы, которые возникают, например, в случае температурных ограничений или недостаточной СЗ в ходе цикла и не могут быть охвачены процедурой испытания на номинальную мощность, которая является менее продолжительной по сравнению с программой задания режима работы ВСЦТС. В результате транспортное средство, возможно, будет не в состоянии поддерживать требуемую скорость на определенных участках, где значения уклона дороги рассчитываются с использованием номинальной мощности гибридной системы, как это уже было указано.

42. Следовательно, только процесс итерации, при котором программа задания режима работы транспортного средства и параметры транспортного средства рассчитываются на основе различных номинальных мощностей, позволит определить такую мощность, при которой транспортное средство сможет пройти испытания, причем его показатели с полной нагрузкой и частотное распределение мощности в отношении его показателей с полной нагрузкой будут аналогичны значениям, предусмотренным программой испытания ВСПЦ. Вместе с тем в зависимости от конструктивных особенностей гибридной системы ограничения могут возникать, даже если используется другой сценарий и отсутствует возможность удовлетворить все три требования, указанные выше. Неофициальная рабочая группа по БГТС решила считать сценарий испытания на номинальную мощность приемлемым для целей настоящей поправки.

43. Ввиду ограниченного количества доступной гибридной энергии и конструктивных особенностей гибридных систем определение репрезентативного значения номинальной мощности сопряжено с большими трудностями, чем в случае обычных двигателей. Вместе с тем был разработан метод испытания, позволяющий установить номинальную мощность гибридной системы таким образом, что цикл испытания в любом случае будет требовать показателей при полной нагрузке. Согласованный метод обеспечивает соответствие испытаний обычных двигателей и гибридных систем с точки зрения цикла испытания, работы системы для целей расчета выбросов и определения мощности, а также обоснованный и применимый в случае силовых установок и метода АПМ, причем нет необходимости вносить какие-либо изменения в соответствующую валидационную модель.

## VI. Метод АПМ

44. Метод АПМ (приложение 9), разработанный для целей настоящих ГТП, основывается на японском регламенте Кокудзикан № 281. В контексте надлежащего отражения в процессе сертификации или официального утверждения типа работы устанавливаемых на гибридных транспортных средствах двигателей при управлении "изнутри" основной целью процедуры АПМ является преобразование цикла скоростного режима транспортного средства в такой цикл испытания двигателя, который являлся бы репрезентативным для применения в конкретной гибридной системе. Метод АПМ, позволяя отказаться от большого числа фактических испытательных прогонов по различным комплектациям транспортного средства, дает возможность смоделировать прохождение переходного скоростного цикла гибридным транспортным средством. При таком моделировании фиксируются показатели работы двигателя, что позволяет соз-

дать цикл для двигателя конкретной гибридной системы. Этот цикл затем может быть использован для испытания этого двигателя на выбросы с применением обычного двигательного динамометра.

45. Работа двигателя на гибридном транспортном средстве в значительной степени зависит от используемых изготовителем собственных стратегий управления гибридной системой. Эти стратегии являются частью ЭБУ гибридной системы (гибридного(ых) ЭБУ). Что касается отражения этих стратегий управления в контуре моделирования, то ЭБУ гибридной системы сохраняются в качестве аппаратного(ых) элемента(ов) и подсоединяются к модели, которая испытывается в режиме реального времени. Этот процесс именуют "аппаратно-программным моделированием". С помощью имитационной модели (состоящей из подмоделей для значений сопротивления при вождении, различных элементов силовой установки и водителя), которая соответствует реальной гибридной системе и реальным блокам управления гибридной системы в виде аппаратных элементов, скоростной цикл транспортного средства преобразуется в цикл с конкретной нагрузкой для двигателя внутреннего сгорания. При использовании системы АПМ число практических испытаний, необходимых для модификации гибридной системы, по сравнению с фактическими испытаниями каждой конфигурации системы, является явно меньшим. В приложении 9 к настоящим ГТП приведены цифры и схемы, которые подробно иллюстрируют процедуру испытания с использованием АПМ.

## **А. Библиотека моделей АПМ**

46. Структура и набор данных моделей, используемые в регламенте Кокудзикан № 281, были скорректированы для указания условий моделирования, допускающих четкий отбор и сочетаемость элементов. В настоящее время структура основывается на системе шин при заданных взаимодействиях каждого модуля из разработанной библиотеки моделей АПМ. Конструктивные особенности упрощают процесс адаптации моделирующей системы АПМ к различным гибридным системам при будущем использовании для целей официального утверждения типа.

47. Для целей моделирования всего транспортного средства желательно, чтобы модели элементов были напрямую соединены друг с другом и формировали модель укомплектованного транспортного средства. Концепция моделирования, которая приемлема для целей АПМ или программного моделирования (ПМ), именуется продвижением данных, а это означает, что силовая установка характеризуется при помощи моделей, которые в свою очередь характеризуются дифференциальными уравнениями. Для этого требуется определить интерфейсы моделей, объединяющие элементы силовой установки.

48. Для моделирования парадигмы на основе использования портов требуются два типа интерфейсов:

- a) физический интерфейс, отвечающий за физическое соединение различных элементов и за передачу энергии;
- b) сигнальный интерфейс, отвечающий за контрольные сигналы/сигналы датчиков, необходимые ЭБУ для управления различными элементами.

49. Для автомобильных силовых установок необходимы четыре (пять) различных физических интерфейса(ов): электрический, механический (ротацион-

ный и трансляционный), химический и жидкостной. Обычно для сигналов интерфейсов используются следующие наименования:

a) Физический интерфейс: `phys_description_Unit`,

где "phys" указывает на то, что это физический сигнал; "description" – описание сигнала, например крутящий момент, напряжение; "Unit" – единица измерения сигнала в системе СИ, например Нм, В, А и т.д.

Пример: `phys_torque_Nm`, что представляет собой физический крутящий момент в модели соответствующего элемента.

b) Сигнальный интерфейс: `Component_description_Unit`,

где "Component" – краткое наименование элемента, например Clu, Engine, ElecMac и т.д.; "description" – описание сигнала, например фактический крутящий момент `tqAct`, напряжение `u`; "Unit" – единица измерения сигнала в системе СИ, например Нм, В, А, рад/с и т.д. Например, `ElecMac_nAct_radps` означает фактическую скорость вращения электроагрегата, выраженную в рад/с.

50. Структура самой модели подразделена на две части: физическую модель и локальный контроллер. Каждая модель включает локальный контроллер, который преобразует управляющие сигналы, поступающие из системы управления (в случае ее наличия), в локальные управляющие сигналы; блок также направляет значения сигналов датчиков в систему управления, т.е. отвечает за сообщение между ЭБУ и физической моделью. Блок физической модели отвечает также за реализацию уравнений модели. Поскольку используется концепция продвижения данных, сигналы обратной связи, входящие в тот или иной блок, выходят из него перед блоком текущего элемента. В энергетическом отношении это означает, что энергия, которая поступает в блок того или иного элемента, представляется как продукт входного сигнала и выходного сигнала обратной связи. Аналогичным образом, энергия, которая выходит из блока элемента, представляется как продукт выходного сигнала и входного сигнала обратной связи.

51. Ведение библиотеки в программном обеспечении "MATLAB® Simulink®", которое хорошо зарекомендовало себя как инструмент программного обеспечения в области автомобилестроения, обеспечивает наиболее удобный вариант для всех участвующих сторон. Вместе с тем описания моделей, приведенные в приложении 9, позволяют использовать для создания моделирующей системы АПМ также любое иное программное обеспечение, отличное от "MATLAB®".

## **В. Процедуры испытания элементов**

52. Для надлежащего формирования модели АПМ и задания ее параметров необходимо определить данные элементов и соответствующие параметры на основе фактических испытаний ее элементов. Описанные в приложении 9 процедуры были разработаны с учетом самых современных процедур и в соответствии с общепризнанными отраслевыми руководящими указаниями для получения данных по преобразователям энергии и накопительным устройствам, затрагиваемым в процессе разработки настоящей поправки к ГТП № 4. Ввиду значительной вариативности и относительной новизны элементов, используемых в гибридных транспортных средствах, пока не считается целесообразным предписывать какие-либо дополнительные процедуры испытания. Обоснованность данных, используемых для задания параметров моделей в тех случаях,

когда не существует никаких предписаний по конкретным процедурам испытания, должна оцениваться соответствующим органом по сертификации или официальному утверждению типа.

### **С. Метод прогнозируемых температур**

53. Поскольку испытание с холодным запуском входит в процедуру сертификации и официального утверждения двигателей, устанавливаемых в обычных транспортных средствах, было решено, что этот сценарий должен применяться также к гибридным силовым установкам. С учетом того, что температура при холодном запуске в контексте этих процедур испытания установлена на уровне 25 °С и во избежание неоправданных действий, в результате которых данные об элементах пришлось бы определять в зависимости от температуры, считается, что температура при холодном запуске на уровне 25 °С не влияет на эффективность элементов гибридной силовой установки. Вместе с тем эта температура может отразиться на принципах работы гибридной силовой установки, что может привести к изменению режима работы двигателя внутреннего сгорания. Для учета этой особенности – без обязательного использования точных термодинамических температурных моделей в библиотеке АПМ, параметризация которых требует чрезмерных усилий, – на гибридные блоки управления должны передаваться температурные данные на основе метода прогнозируемых температур.

54. Для прогона по методу АПМ при холодном запуске необходимо, чтобы температурные сигналы элементов, влияющих на гибридную стратегию управления, поступали в подсоединенный(ые) ЭБУ. Независимо от их профиля и происхождения они должны использоваться в ходе моделирования АПМ для создания цикла гибридного двигателя (ЦГД). Для подтверждения правильности прогнозируемых температурных профилей замеряются и фиксируются соответствующие фактические температурные значения в ходе измерений выбросов на испытательном стенде для двигателя (например, температура охлаждающей жидкости, температура системы последующей обработки и т.д.), которые затем сравниваются с прогнозируемыми значениями. С помощью линейного регрессионного анализа подтверждается правильность прогнозируемых профилей и их соответствие фактическим температурным показателям.

55. Валидация этого метода была произведена Национальной лабораторией по безопасности дорожного движения и охране окружающей среды (НЛБДО) с использованием данных о транспортном средстве из Японии, которое не участвовало в программе проверочных испытаний, охарактеризованной в главе VIII.

## **VII. Метод силовых установок**

56. Метод испытания силовых установок, предложенный в приложении 10, нацелен для получения результатов, необходимых для сертификации или официального утверждения типа и сопоставимых с результатами, полученными в рамках процедуры АПМ, описанной в приложении 9. Метод силовых установок не предполагает использования имитационных моделей для определения режима работы двигателя внутреннего сгорания и вместо этого предусматривает обязательное наличие всех элементов гибридной силовой установки в виде аппаратного обеспечения, а также прямое проведение замеров на выбросы. По сути, он соответствует испытанию на динамометрическом стенде, при котором шасси и, скорее всего, окончательная передача (а также, возможно, коробка пе-

редач) моделируются с помощью контроллера испытательного стенда. Моделируемые элементы подпадают под действие тех положений, которые предусмотрены в отношении метода АПМ в приложении 9.

## VIII. Валидация методов

57. В рамках процесса разработки настоящей поправки к ГТП № 4 для валидации предложенной процедуры АПМ использовались различные европейские большегрузные гибридные транспортные средства (три единицы). С учетом того, что гибридные системы по-прежнему характеризуются нишевым применением в секторе большегрузных транспортных средств и не получили широкого распространения среди всех категорий транспортных средств, использованные для валидации транспортные средства были представлены двумя автобусами и одним автофургоном. В ходе реализации этой исследовательской программы были испытаны две параллельные конфигурации гибридных систем с разными коэффициентами соотношения электрической мощности к мощности двигателя внутреннего сгорания, а также одна серийная гибридная система, устанавливаемая на городских автобусах, с относительно небольшим энергоаккумулирующим устройством, которая в данной связи представляла переходный режим работы двигателя внутреннего сгорания.

58. Поскольку измерение выбросов для полученного в контексте рабочего цикла двигателя, указанного в приложении 9, произведено в соответствии с положениями, которые уже включены в ГТП № 4, основное внимание было уделено валидации модели АПМ. Для этого все три транспортных средства подверглись испытанию на динамометрическом стенде. Программа задания режима работы ВСЦТС была применена в соответствии с фактическим положением дел согласно разработкам на момент проведения испытания; таким образом, полученные результаты могли бы использоваться при дальнейшей разработке для согласования программы испытаний с ВСПЦ и учета условий испытания на динамометрическом стенде. При отсутствии других валидационных критериев для оценки подхода, основанного на АПМ, были позаимствованы критерии из регламента Кокудзикан № 281.

59. Фактическая валидация модели АПМ оказалась возможной не для всех изготовителей, участвовавших в реализации программы валидационных испытаний, поэтому валидационные результаты были получены с использованием одной системы АМ (аппаратного моделирования), одной системы АПМ (аппаратно-программного моделирования) и одной системы ММ (моделирования с имитационной моделью в контуре). Поскольку исходные данные для валидации модели могут быть получены в результате измерений на динамометрическом стенде, точность этих измерений являлась ключевым фактором успешной валидации модели.

60. Независимо от вида использовавшейся системы (АПМ, ПМ или ММ) было доказано, что усложнение гибридной системы приводит к значительному увеличению объема необходимых валидационных испытаний. Следовательно, валидация модели для серийной гибридной системы, являющейся наиболее сложной из всех испытанных систем, с применением японских валидационных критериев не оказалась успешной. Из двух параллельных гибридных систем одно транспортное средство соответствовало всем японским критериям, а второе – лишь некоторым из них.

61. Таким образом, были рассмотрены альтернативные валидационные критерии модели АПМ, которые, однако, не удалось подвергнуть дальнейшему анализу в контексте текущего мандата группы по БГТС. На семнадцатой сессии неофициальной рабочей группы по БГТС было решено принять валидационные критерии, приведенные в регламенте Кокудзикан № 281, и рассмотреть вопрос о модификации этих критериев или метода валидации, возможно, путем принятия в будущем соответствующей поправки.

62. Провести отдельную проверку метода силовых установок в рамках программ валидационных испытаний, являющихся частью процесса разработки настоящего предложения по поправке к ГТП № 4, невозможно, однако соответствующая валидационная программа была реализована Агентством по охране окружающей среды США и Агентством по окружающей среде Канады и доказала возможность практического применения данного метода.

---