

Полезная механическая работа автомобиля

С.П. Пожидаев, к.т.н., НУБип Украины

С точки зрения классической механики автомобиль представляет собой устройство, на вход которого от двигателя поступает механическая энергия $A_{\text{общ}}$, часть которой ($A_{\text{пот}}$) безвозвратно теряется на преодоление вредных сопротивлений, а оставшаяся часть выполняет полезную механическую работу $A_{\text{пол}}$. Отношение количества последней к общей механической энергии $A_{\text{общ}}$ представляет собой коэффициент полезного действия (энергетический КПД) автомобиля как обычного механического устройства:

$$\eta = \frac{A_{\text{пол}}}{A_{\text{общ}}} \quad (1)$$

Такой показатель обсуждается в научно-технической литературе [1], но не применяется. Причина этого заключается в отсутствии единого мнения о том, что же считать полезной механической работой $A_{\text{пол}}$ на выходе автомобиля. Известны десятки различных предложений [2], однако никакое из них нельзя признать бесспорным.

Например, отвергнув все известные точки зрения как недостаточно обоснованные, В.И. Коптилов предлагает под полезной понимать работу, выполняемую автомобилем в процессе преодоления им той части силы сопротивления качению и воздуха, которая обусловлена массой и размерами груза [2]. На наш взгляд, такая точка зрения противоречит опыту и практике эксплуатации автомобильного транспорта, а также фундаментальным положениям классической механики.

Целью работы является обоснование того, что следует считать полезной механической работой $A_{\text{пол}}$ на выходе автомобиля.

Результаты исследований. Объём общей механической энергии $A_{\text{общ}}$, поступающей на вход автомобиля, представляет собой сумму энергии $A_{\text{пол}}$, потраченной на выполнение полезной работы, и энергии $A_{\text{пот}}$, потраченной на преодоление всех вредных сопротивлений:

$$A_{\text{общ}} = A_{\text{пол}} + A_{\text{пот}} \quad (2)$$

В процессе совершенствования конструкции автомобиля происходит уменьшение непроизводительных потерь энергии $A_{\text{пот}}$ в нём. В гипотетическом идеальном автомобиле (ГИА), в направлении к которому эволюционирует конструкция реальных автомобилей, непроизводительные потери энергии $A_{\text{пот}}$ должны быть сведены к нулю. Вследствие этого объёмы поступающей на вход ИА общей механической энергии $A_{\text{общ}}^{\text{ид}}$ и энергии $A_{\text{пол}}$ будут равны:

$$A_{\text{общ}}^{\text{ид}} = A_{\text{пол}}, \text{ или, что то же: } A_{\text{общ}}^{\text{ид}} = A_{\text{пол}} \quad (3)$$

Соотношение (3) указывает, что объём полезной механической работы на выходе автомобиля $A_{\text{пол}}$ количественно равен общим затратам энергии $A_{\text{общ}}^{\text{ид}}$ на входе ГИА. Для уяснения структуры последних проанализируем все силы, противодействующие движению реального автомобиля, и по каждой из них примем решение, будет ли она присутствовать в ГИА или не будет. Например, мы способны в определённых пределах влиять на

силу сопротивления качению колёс. И полное её устранение не будет препятствовать осуществлению транспортного процесса. Исходя из этого, принимаем решение: сила сопротивления качению колёс не является необходимой для осуществления транспортного процесса. Следовательно, затраты энергии на её преодоление следует относить к непроизводительным. В ГИА эта сила должна отсутствовать. Это, кстати, возможно и в реальном автомобиле – если он будет перемещаться вдоль дороги на бесконтактной магнитной подвеске.

Аналогичным образом исключаем из образа ГИА силы сопротивления воздуха (движение может осуществляться в вакуумном тоннеле), силы трения в трансмиссии (последняя может отсутствовать), буксование движителей (возможна канатная тяга), моменты инерции вращающихся масс (ГИА может не иметь вращающихся деталей).

Поднимать вопрос о нереальности или надуманности образа ГИА в принципе некорректно. Кроме того, не следует забывать, что конструкция автомобиля является функцией времени, применяемых технологий и наличных ресурсов, вследствие чего даже фантастический автомобиль может завтра оказаться реальностью.

Сила сопротивления подъёму неподвластна человеку, она выполняет работу по изменению потенциальной энергии автомобиля, поэтому в ГИА должна остаться. Сила инерции тоже неподвластна человеку, она выполняет работу по изменению кинетической энергии автомобиля.

Таким образом, в ГИА будут действовать всего две последние силы. Они не являются диссипативными, вследствие чего не противостоят обстоятельствам, упомянутым при анализе работы [2]. Эти две силы определяют энергетическое состояние автомобиля, характеризуемое суммой потенциальной энергии U и кинетической энергии в поступательном движении T . В классической механике упомянутую сумму называют полной энергией системы $E: E = T + U$ [3]. При отсутствии внешних воздействий эта энергия является постоянной величиной, а при наличии их она изменяется.

При разгоне на горизонтальной дороге двигатель ГИА выполняет механическую работу, которая расходуется только на накопление кинетической энергии автомобиля. При достижении заданной скорости движения двигатель прекращает работу, а ГИА продолжает движение по инерции. Поскольку все силы сопротивления движению отсутствуют, то движение может продолжаться неограниченно долго. В конечном пункте ГИА останавливают, обнуляя его кинетическую энергию. Приращение кинетической энергии ΔT , которое необходимо дать автомобилю для выполнения такого цикла, однозначно характеризует общие энергетические затраты ГИА $A_{\text{общ}}^{\text{ид}}$ безотносительно к маршруту его движения.

Если в дороге предусмотрены остановки, то двигатель должен обеспечивать повторное накопление кинетической энергии после каждой из них. Если географическая высота конечного пункта превышает высоту начального пункта, то потребуется дополнительная работа двигателя для увеличения потенциальной энергии автомобиля. Приращение полной энергии ΔE , которое двигатель должен дать автомобилю для преодоления этого маршрута, характеризует общие энергетические затраты ГИА $A_{\text{общ}}^{\text{ид}}$ применительно к данному маршруту: $A_{\text{общ}}^{\text{ид}} = \Delta E$. Заменяв левую часть этого равенства правой частью соотношения (3), окончательно получаем, что полезной механической работой $A_{\text{пол}}$ на выходе автомобиля следует считать полученное им приращение полной энергии $\Delta E: A_{\text{пол}} = \Delta E$.

Оно является тем эталоном затрат энергии для любого реального автомобиля, который указывает на минимум, могущий быть доступным человечеству при условии создания ГИА. Следовательно, энергетический КПД автомобиля (1) должен вычисляться по соотношению:

$$\eta = \frac{\Delta E}{A_{\text{общ}}} = \frac{\Delta(T+U)}{A_{\text{общ}}}, \quad (4)$$

числитель которого представляет собой изменение полной энергии автомобиля, необходимое для его движения, а знаменатель – фактические затраты энергии на преодоление всех без исключения сил сопротивления движению.

Соотношение (4) выдерживает проверку на правильность результатов при крайних допустимых значениях входных переменных. Например, у ГИА вся механическая работа, выполненная двигателем, преобразуется в кинетическую и/или потенциальную энергию. Вследствие этого значения числителя и знаменателя соотношения (4) равны, что приводит к значению $\eta = 1,0$, находящемуся в соответствии с физическим смыслом энергетического КПД в классической механике. У буксующего на месте автомобиля отсутствуют изменения потенциальной и кинетической (в поступательном движении) энергий, что приводит к нулевым значениям числителя и всего соотношения (4) и тоже соответствует физическому смыслу КПД. Реальные автомобили будут иметь какие-то промежуточные значения КПД. Проверка соотношения (4) была проведена и применительно к процессу разгона автомобилей, её результаты будут изложены в последующих работах.

При вычислении приращения полной энергии могут быть учтены все конкретные особенности организации транспортного процесса или дорожного движения, например, применительно к стандартным ездовым циклам [4]. При движении накатом на спуске приращение кинетической энергии ΔE происходит за счёт уменьшения потенциальной энергии автомобиля U . В этом случае понятие КПД (4) не имеет смысла, т.к. энергия

двигателя не используется ($A_{\text{общ}} = 0$) и изменения полной энергии не происходит ($\Delta E = 0$). Но любое «уточнение» соотношения (4) путём учёта в его числителе работы, выполняемой какой-либо иной силой, недопустимо.

Выводы. Мы полагаем, что полезной механической работой $A_{\text{пол}}$ на выходе автомобиля следует считать приращение его полной энергии в поступательном движении. Это позволит получать однозначную количественную оценку того, насколько энергетическая эффективность реального

автомобиля отличается от такой же эффективности гипотетического идеального автомобиля.

Литература

1. Евсеев П.П. Расчётное определение КПД автомобиля // Автомобильная промышленность. 2011. № 9. С. 22–24.
2. Копотилов В.И. О комплексных показателях топливно-энергетической эффективности автомобиля // Автомобильная промышленность. 2012. № 5. С. 15–17; № 6. С. 7–10; № 7. С. 15–18.
3. Иродов И.Е. Основные законы механики. М.: Высшая школа, 1978. 240 с.
4. ГОСТ 20306-90. Автотранспортные средства. Топливная экономичность. Методы испытаний. М.: Изд-во стандартов. 1991. 32 с.