

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ РАЗГОНА АВТОМОБИЛЯ
ДО ЗАДАННОЙ СКОРОСТИ МЕТОДОМ
ОБРАТНЫХ УСКОРЕНИЙ**

**DETERMINATION OF VEHICLE ACCELERATION TIME UNTIL
GIVEN SPEED BY USING REVERSE ACCELERATIONS METHOD**

Галямов П. М., канд. техн. наук, доц.,
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь
P. Haliamau, Ph.D. in Engineering, Associate Professor,
Belarusian national technical University, Minsk, Belarus

В статье рассмотрены существующие методы оценки времени разгона автомобилей до заданной скорости и показаны их преимущества и недостатки. Показано, что для современных автомобилей, обладающих достаточным запасом мощности двигателя при скорости, ограниченной по условиям безопасности дорожного движения, и оснащенных силовыми установками, обеспечивающими разгон автомобиля практически без разрыва потока мощности, наиболее рациональным методом решения указанной задачи является метод обратных ускорений, несмотря на то, что он был изначально предложен основоположником теории автомобиля академиком Е. А. Чудаковым.

In this paper are considered existing methods for estimation vehicles acceleration time until given speed and their advantages and disadvantages are shown. It is shown that for modern vehicles which have enough power spare at speed which is to be limited by safety road traffic conditions and equipped with power units which are allowed acceleration of vehicle nearby without breaking of power flow the most reasonable method of solving of the above mentioned task is using reverse accelerations method not looking on that it was initially proposed by academician E. A. Chudakov, who was founder of the automobile theory.

Ключевые слова: автомобиль, разгон, время разгона автомобиля, ускорение автомобиля, метод обратных ускорений.

Keywords: vehicle, vehicle speed increasing, vehicle time acceleration, acceleration of the vehicle, reverse accelerations method.

ВВЕДЕНИЕ

Имеющаяся в настоящее время тенденция оснащения современных автомобилей все более мощными двигателями в сочетании с применением на них радиальных цельнометаллокордных шин с пониженным коэффициентом сопротивления качению и пластиковых деталей обтекаемой формы, снижающих массу автомобиля и коэффициент аэродинамического сопротивления приводит к тому, что на таких автомобилях касательная сила тяги на ведущих колесах при работе двигателя по внешней скоростной характеристике превышает сумму всех сил сопротивления движению на качественной ровной горизонтальной дороге с усовершенствованным покрытием либо во всем диапазоне допустимых частот вращения двигателя на всех передачах, либо вплоть до скоростей, значительно превышающих допустимые по условиям безопасности дорожного движения. Это вынуждает искусственно ограничивать максимальную скорость движения всех автомобилей на одинаковом законодательно разрешенном уровне либо с помощью запрещающих дорожных знаков, либо с помощью предписаний в правилах дорожного движения для случаев их отсутствия в и вне населенных пунктов в зависимости от категории транспортных средств и дорог, либо путем установки на сами автомобили электронных ограничителей максимальной скорости. Все это сводит на нет преимущество от приобретения автомобилей, обладающих высокой максимальной скоростью, и приводит к тому, что среди оценочных показателей тягово-скоростных свойств автомобилей их покупатели на первый план сейчас выдвигают не самую максимальную скорость, а время разгона, причем даже не до самой максимальной скорости, а до какой-либо меньшей, как правило, 60 миль/ч в США или 100 км/ч в странах СНГ и Европы. В подтверждение сказанному уместно привести пример маркетинговой политики американской компании «*Tesla Motors*», которая специализируется на производстве электромобилей премиум класса и продает модификацию «*Plaid*» своего электромобиля «*Tesla Model S*», на 50 000\$ дороже чем модификацию «*Long Range*», только за то, что первая имеет время разгона с нуля до 60 миль в час на 1,11 с меньше, чем вторая и при этом даже уступает второй по величине запаса хода на одной зарядке [1]. Это подтверждает при проектировании автомобиля актуальность задачи выбора соответствующего метода расчета его времени разгона до

заданной скорости, анализ которых будет проведен далее в хронологическом порядке их появления.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В теории автомобиля известны и используются следующие методы определения времени разгона автомобиля до заданной скорости:

- метод обратных ускорений;
- метод средних ускорений;
- методы энергетического типа.

Метод обратных ускорений был предложен основоположником теории автомобиля академиком Е. А. Чудаковым, который в работе [2] показал, что время разгона автомобиля Δt от начальной скорости V_1 до конечной скорости V_2 может быть найдено как

$$\Delta t = \int_{V_1}^{V_2} (1/a) dV, \quad (1)$$

где a – ускорение автомобиля. В этой же работе показано, что для того, чтобы можно было воспользоваться выражением (1), необходимо на основании графика зависимости ускорения автомобиля от его скорости построить график величины, обратной его ускорению, от скорости, и затем найти площадь фигуры, ограниченной осью абсцисс, графиком обратного ускорения и вертикальными линиями, соответствующими начальной и конечной скоростям., или аналитическое выражение для зависимости ускорения автомобиля от его скорости отсутствует или не известно. Преимуществом выражения (1) является принципиальная возможность получения из него в явном виде формул для нахождения времени зависимости разгона автомобиля Δt от начальной скорости V_1 до конечной скорости V_2 , если входящий в него интеграл будет выражаться в элементарных функциях, а также сравнительную простоту решения указанной задачи известными методами численного интегрирования на электронно-вычислительных машинах в противном случае. Однако в те времена, когда была написана работа [2], подавляющее большинство выпускавшихся автомобилей имели сравнительно маломощный двигатель, диагональные шины с тканевым или нейлоновым кордом с высоким коэффициентом сопротивления качению и

трансмиссию с механической ступенчатой коробкой передач, что приводило к тому, что на максимальной скорости такие автомобили не имели запаса мощности на преодоления сил сопротивления движению из-за чего при максимальной скорости движения, а также во время переключения передач их ускорение обращалось ноль, и, соответственно обратное ускорение обращалось в бесконечность, что делало невозможным построение и анализ графика обратного ускорения. По этой причине в современной литературе по теории автомобиля метод обратных ускорений вовсе не упоминается [3, 4], а вместо него предлагается для оценки времени разгона автомобиля использовать другой метод – метод средних ускорений.

Метод средних ускорений [5] основывается на разбиении графика зависимости ускорения автомобиля от его скорости на элементарные прямоугольные, треугольные или трапециевидные участки, в пределах каждого из которых предполагается, что автомобиль осуществляет равноускоренное движение с некоторым средним ускорением. Суммарное время разгона автомобиля, согласно этому методу, находится как сумма времен прохождения автомобилем каждого из этих элементарных участков, которое в свою очередь находится как отношение разности скоростей в начале и в конце каждого из них к среднему ускорению в пределах соответствующего участка. По сравнению методом обратных ускорений метод средних ускорений обладает двумя несомненными преимуществами, первое из которых состоит в отсутствии необходимости построения графика обратных ускорений, а второе заключается в том, что данный метод позволяет определять время разгона автомобиля во время переключения передач, даже когда при этом его ускорение будет отрицательным. Специфика данного метода состоит в том, что даже если ускорение автомобиля на максимальной скорости обратиться в ноль, среднее ускорение на последнем участке, куда она входит, не будет равным нулю за счет положительного ускорения в начале этого участка, что не придает каких-либо особенностей расчету времени разгона автомобиля до максимальной скорости, даже если при максимальной скорости автомобиль будет иметь нулевое ускорение. Все это способствовало укоренению в учебной литературе по теории автомобиля именно метода средних ускорений, несмотря на наличие в нем недостатков, вытекающих из необходимости разбивать график зависимости ускорения автомобиля от

скорости на элементарные фигуры, в пределах каждой из которых ускорение считают постоянным. Во-первых, это разбиение весьма трудоемко. Во-вторых, оно может быть неоднозначным в зависимости от требуемой точности расчета. В-третьих, оно не может быть формализовано и алгоритмизировано. В-четвертых, если зависимость ускорения автомобиля от его скорости будет иметь аналитическое выражение, что возможно, если характеристики двигателя и сил сопротивления движению автомобиля от скорости будут заданы аналитически, необходимость разбиения кривой ускорения на элементарные участки и численный расчет времени разгона на них приводят к принципиальной невозможности получить точное аналитическое выражение для зависимости времени разгона от скорости при использовании рассмотренного выше метода средних ускорений даже применительно к современным автомобилям, у которых в течение всего периода разгона ускорение не обращается в ноль (электромобили, троллейбусы и электробусы с трансмиссией с постоянным передаточным числом; автомобили с гидромеханическими передачами, ступени в которых переключаются с перекрытием фрикционов без разрыва потока мощности; автомобили с бесступенчатыми трансмиссиями на основе вариаторов).

Энергетические методы расчета времени разгона автомобиля не используют зависимость ускорения автомобиля от его скорости. Они появились в начале XXI века и основаны на других принципах. Например, С. П. Пожидаев в работе [6], используя теорию анализа размерностей установил, что время разгона автомобиля до заданной скорости прямо пропорционально произведению некоего постоянного коэффициента, полной массы автомобиля и величины квадрата этой скорости, и обратно пропорционально номинальной мощности двигателя. Базируясь также на теории анализа размерностей, В. С. Карабцев и Д. Х. Валеев получили в работе [7] весьма схожее выражение, также содержащее в числителе произведение безразмерной константы, полной массы автомобиля и квадрата скорости, до которой определяется время его разгона, и отличающееся присутствием вместо номинальной мощности двигателя его номинальный крутящий момент, а также наличием множителя, содержащего отношение радиуса качения шин ведущих колес к ускорению свободного падения под знаком квадратного корня. Несмотря на эти различия, оба вышеупомянутых метода по мнению автора данной

статьи следует назвать методами энергетического типа, поскольку произведение массы автомобиля на квадрат скорости определяет его кинетическую энергию. Недостатки подобных методов состоит в том, что они предполагают, что при разгоне автомобиля мощность либо крутящий момент двигателя при разгоне автомобиля все время являются постоянными и равными их номинальным значениям, что, очевидно, не соответствует действительности, они позволяют оценить время разгона автомобиля только с нулевой, а не с какой-либо иной начальной скорости. Также в работах [6, 7] не представлены точные выражения для расчета величины входящей в них безразмерной константы, которая будет иметь близкие значения только у схожих автомобилей, для которых ее нужно будет найти экспериментально, что ограничивает область применения энергетических методов сравнительным анализом автомобилей, имеющих схожие назначение, массогабаритные показатели и тип двигателя.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для расчетного определения времени разгона современных автомобилей, оснащенных силовой установкой, исключающей появление нулевых ускорений в процессе их разгона (электромобили, имеющие трансмиссии с постоянным передаточным числом и не требующие переключения передач, автомобили с гидромеханическими трансмиссиями с автоматическим переключением передач без разрыва потока мощности, а также автомобили с бесступенчатым изменением передаточного числа трансмиссии, в составе которой имеется вариатор), и при этом имеющих запас мощности двигателя при движении с максимальной скоростью, наиболее рационально использовать метод обратных ускорений [2], принципиально позволяющий получить аналитическое выражение для времени разгона автомобиля от начальной до конечной скорости. Для этого необходимо характеристики выходного крутящего момента таких силовых установок и двигателей указанных автомобилей аппроксимировать аналитическими выражениями, такими, чтобы интеграл от величины, обратной их выходному крутящему моменту, мог выражаться в элементарных функциях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Model S | Tesla [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.tesla.com/models>. – Дата доступа: 10.05.2023.
2. Чудаков, Е. А. Теория автомобиля. / Е. А. Чудаков. – М.: Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы, 1950. – 350 с.
3. Тарасик, В. П. Теория движения автомобиля / В. П. Тарасик. – 2-е издание. – СПб.: БХВ, 2022. – 576 с.
4. Руктешель, О. С. Выбор параметров и оценка тягово-скоростных и топливно-экономических свойств автомобиля: учеб. пособие / О. С. Руктешель. – Минск: БНТУ, 2015. – 80 с.
5. Гришкевич, А. И. Автомобили: Теория: учебник для вузов / А. И. Гришкевич. – Минск: Вышэйшая школа, 1986. – 208 с.
6. Пожидаев С. П. Оценка времени разгона автомобилей до заданной скорости / С. П. Пожидаев // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2013. – № 5 (43). – С. 75–76.
7. Карабцев, В. С. Расчетная оценка динамических характеристик грузовых АТС / В. С. Карабцев, Д. Х. Валеев // Автомобильная промышленность. – 2004. – № 2. – С. 7–9.

Представлено 10.05.2023