

АВТОТРАНСПОРТНЫЕ СРЕДСТВА

УДК 629.017

DOI:10.30977/АТ.2219-8342.2018.42.0.43

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗГОНА АВТОМОБИЛЯ

Пожидаев С.П., Национальный научный центр
«Институт механизации и электрификации сельского хозяйства»

Аннотация. Построены простые расчетные соотношения для описания основных характеристик процесса разгона автомобиля «в целом». Они дают возможность решать ряд практических задач, связанных с разгоном автомобиля, в том числе определять цикловой КПД автомобиля при разгоне до заданной скорости движения и время, необходимое для этого разгона.

Ключевые слова: автомобиль, разгон, скорость, мощность, цикловой КПД при разгоне.

Введение

Разгон автомобиля играет решающую роль при входе автомобиля в транспортный поток после начала движения или разворота, при обгонах и т.п. Он применяется очень часто – при движении в городах ускоренное движение занимает от 30 до 45 % времени [1]. Разгон является также одним из самых сложных для исследования режимов. Динамические свойства автомобилей оценивают по динамическому фактору, ускорению, времени или пути разгона до заданной скорости.

Эти показатели характеризуют динамичность автомобиля с различных точек зрения. Динамический фактор или ускорение предоставляют информацию о мгновенных значениях динамичности автомобиля при заданной скорости движения и выбранной передаче, т.е. о том, что происходит «в данное время и в данном месте». А время или путь разгона до заданной скорости движения свидетельствуют о динамических свойствах автомобиля «в целом» за некоторый отрезок времени или пути.

Теоретическое определение динамического фактора автомобиля не представляет трудностей, хотя и требует наличия внешней скоростной характеристики двигателя и числовых значений основных конструктивных параметров автомобиля.

Теоретическое определение времени разгона автомобиля до заданной скорости движения более затруднительно по ряду причин. Методика этой процедуры более сложна, она требует численного интегрирования ускорений автомобиля, числовых значений большего количества конструктивных параметров

и ряда внешних скоростных характеристик двигателя в неустановившихся режимах работы (полученных при различных ускорениях коленчатого вала двигателя), которые для большинства двигателей отсутствуют.

Поэтому упомянутая методика носит только демонстрационный характер, вследствие чего, как утверждают работники КамАЗа, «... ни один конструктор не может заранее четко ответить на вопрос: каково будет время разгона создаваемого им грузового автомобиля заданной полной массы с известными номинальными характеристиками двигателя до скорости 60 км/ч или автомобиля легкового – до 100 км/ч?» [2].

И действительно, современная теория автомобиля не может ни подтвердить, ни опровергнуть обнародованные заводами-изготовителями числовые значения времени разгона того или иного автомобиля.

Например, в работе [2] сообщается о том, что время разгона до 60 км/ч автопоезда на базе автомобиля КамАЗ-5460 (двигатель мощностью 265 кВт, полная масса автопоезда – $40,0 \cdot 10^3$ кг) равно 49,0 с, а время разгона до той же скорости автопоезда на базе автомобиля Scania R164LA480 (мощность двигателя – 480 л.с., то есть 353 кВт, масса автопоезда – та же) равно 20,0 с.

Следовательно, автопоезд на базе автомобиля Scania, имеющего мощность двигателя на треть больше, чем КамАЗ, разгоняется на 2/3 быстрее. Можно согласиться, что технический уровень автомобиля Scania несколько выше, чем КамАЗа. Однако такая большая разница в динамике автопоездов вызывает сомнение. Возможно, что в рекламных целях

автомобильный завод *Scania* приукрасил время разгона своего автомобиля. Но мы, к сожалению, не можем ни подтвердить, ни опровергнуть это предположение. Теория автомобиля оказывается бессильной при решении этой элементарной практической задачи.

При исследованиях в области теории автомобиля, как и в других технических науках, принято учитывать максимально возможное количество факторов [3]. Но при этом снижается общность получаемых результатов, они приобретают частный характер, картина явления «в целом» теряется – «за деревьями не видно леса». Это является неизбежным следствием игнорирования принципа Парето 20/80: существенное влияние на работу любой сложной системы оказывает не более 20 % входных переменных, а остальные 80 % имеют малое или даже несущественное значение, лишь засоряя и размывая основную картину явления.

Поэтому непременным условием любого успешного научного исследования является абстрагирование от несущественных факторов. Выдающийся физик, лауреат Нобелевской премии Л.Д. Ландау подчёркивал: «Главное в физике – это умение пренебрегать».

Только это обеспечивает возможность выявлять простые соотношения, описывающие самые общие, доминирующие закономерности протекания процессов. Все фундаментальные истины в науке были открыты именно благодаря приверженности к простоте. Результаты, получаемые из простого соотношения, можно легко подтверждать экспериментально, если они верны, и так же легко опровергать в случае их ошибочности. Правильные результаты можно затем постепенно уточнять путем последовательного учета интересующих нас второстепенных факторов, что приведёт к расширению и обобщению первичных результатов.

Очень результативным является абстрагирование от второстепенных деталей при изучении обобщающих, интегральных показателей функционирования объекта исследования, характеризующих его «в целом».

Анализ публикаций

Авторы работы [2], отказавшись от общепринятой методики теоретической оценки времени разгона автомобиля, предложили простое обобщающее уравнение, позволяющее с достаточной точностью определять

время разгона грузовых автомобилей до заданной скорости движения v

$$t_p = C \frac{m_n v^2}{M_{e,\max}} \sqrt{\frac{r_k}{g}}, \quad (1)$$

где C – безразмерный коэффициент; m_n – полная масса автомобиля кг; $M_{e,\max}$ – максимальное значение крутящего момента двигателя, Н·м; r_k – радиус качения колес, м; g – ускорение земного притяжения, м/с².

Ещё более простое решение этой же задачи было предложено в работе [4]

$$t = 318,5 \frac{m_n}{N_e}, \quad (2)$$

где m_n – полная масса автомобиля, т; N_e – номинальная мощность двигателя, кВт.

Аналогичное решение предложено в работе [5], но в ней не раскрыта сущность применяемой методики расчета.

Исследованию энергетической эффективности процесса разгона автомобилей посвящена работа [6]. В ней обращено внимание на необходимость опираться не на мгновенные значения энергетического КПД автомобиля в процессе разгона, а на цикловой КПД при разгоне – обобщающий показатель, дающий энергетическую оценку этого режима движения автомобиля «в целом».

Цель и постановка задачи

Целью исследования является построение более совершенных и в то же время предельно простых расчетных соотношений для описания основных характеристик процесса разгона автомобиля «в целом». Для её достижения необходимо решить задачу математического описания процесса разгона автомобиля в энергетической области при одновременном абстрагировании от максимально возможного количества второстепенных факторов.

Построение расчетных соотношений для описания основных характеристик процесса разгона автомобиля и их анализ

В качестве исходного положения было принято, что мерой полезного эффекта при разгоне автомобиля на горизонтальной дороге является его кинетическая энергия. Вследствие этого разгон автомобиля рассматривался как процесс «накачки» его кинетической энергией, в которую преобра-

зудается некоторая часть механической работы, выполняемой двигателем.

Приняв, что время разгона автомобиля до заданной скорости движения v , м/с, равно t , с, а двигатель автомобиля имеет номинальную эффективную мощность N_e , кВт, получено, что за отрезок времени t он теоретически способен выполнить механическую работу A , равную, Дж

$$A = N_e t \cdot 10^3. \quad (3)$$

Но в полезную работу преобразуется только часть потенциально возможной работы (3). Она равна накопленной в процессе разгона кинетической энергии T автомобиля с грузом в их поступательном движении, Дж

$$T = mv^2 / 2, \quad (4)$$

где m – полная масса автомобиля, кг.

Частное от деления величины (4) на (3) представляет собой энергетический цикловой КПД автомобиля при его разгоне $\eta_{ц,р}$

$$\eta_{ц,р} = \frac{mv^2 10^{-3}}{2N_e t}. \quad (5)$$

Из соотношения (5) следуют 14 перечисленных ниже новых выводов.

1. Для характеристики энергетической эффективности автомобиля в процессе разгона необходимы и достаточны значения всего лишь четырех независимых переменных – t , v , N_e и m . Эти переменные являются ключевыми для описания энергетических свойств автомобиля при его разгоне.

2. Совокупность переменных (t , v , N_e , m и $\eta_{ц,р}$) предоставляет полную информацию обо всех существенных сторонах процесса разгона. Не существует ни одного явного или неявного фактора, который бы не учитывался этими переменными.

3. Неизвестной величиной в соотношении (5) является только одна из ключевых переменных – время t разгона автомобиля до заданной скорости, но её экспериментальное определение у любого автомобиля не представляет труда.

4. Числовые значения величин t , v , N_e и m всех современных отечественных и зарубежных автомобилей имеются в соответствующих справочниках. Это даёт возможность

легко создать базу данных их циклового КПД при разгоне.

5. Значение циклового КПД (5) опирается на величины t , v , N_e и m , каждую из которых можно определить с любой наперёд заданной точностью. Следовательно, с такой же точностью может быть вычислено и значение циклового КПД при разгоне.

6. Значение разности « $1,0 - \eta_{ц,р}$ » характеризует степень совокупного отрицательного влияния всех без исключения факторов, ухудшающих разгонную динамику автомобиля. Это уменьшение мощности двигателя при его работе в неноминальном режиме; ухудшение качества рабочих процессов, наблюдающееся в переходных режимах работы двигателя; прекращение поступления энергии от двигателя в моменты переключения передач; рассеивание энергии при пробуксовке колес и элементов трансмиссии (сцепления или гидротрансформатора); потери, связанные с преодолением сил трения в трансмиссии и сил сопротивления качению и воздуха, моментов сопротивления разгону вращающихся масс. Величина « $1,0 - \eta_{ц,р}$ » отображает отрицательное влияние на разгон автомобиля даже тех факторов, о существовании которых в автомобильной науке сейчас, возможно, и не подозревается.

В табл. 1 и на рис. 1 приведены значения циклового КПД при разгоне автомобилей и автопоездов КамАЗ, вычисленные по данным работ [2] и [4]; в качестве аргумента на рис. 1 использована удельная масса автомобилей m' , равная отношению массы m к номинальной мощности двигателя N_e .

Таблица 1 – Значения циклового КПД при разгоне автомобилей и автопоездов КамАЗ

Исходные данные (заливкой выделены автопоезда)				Цикловой КПД
Модель автомобиля и его колесная формула	Полная масса, $\times 10^3$, кг	Мощность двигателя, кВт.	Время разгона до 60 км/час, с	
1	2	3	4	5
5320, 6x4	15,3	154	30,5	0,453
5320, 6x4	26,3	154	62,1	0,382
53215, 6x4	19,3	176	33,6	0,453
53215, 6x4	33,3	176	63,9	0,411
54115, 6x4	34,2	176	64,8	0,416

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5
55111, 6x4	22,2	176	39,6	0,442
65115, 6x4	25,2	191	38,4	0,477
6520, 6x4	33,1	235	42,3	0,462
5460, 4x2	40,0	265	49,0	0,428
6460, 6x4	46,0	265	58,1	0,415
43114, 6x6	15,4	191	23,5	0,476
Среднее значение циклового КПД				0,438
Среднее квадратичное отклонение (СКО) индивидуальных значений s				0,030
Коэффициент вариации $V, \%$				6,9

Значения циклового КПД не имеют существенной линейной корреляционной связи со значениями массы автомобилей или мощности их двигателей. Но корреляция со значениями удельной массы автомобилей m' существенна: коэффициент корреляции равен минус 0,785, оценочное значение t -критерия равно 3,80 при критическом табличном значении 2,26.

Однако коэффициент регрессии циклового КПД при разгоне на удельную массу m' мал ($0,63 \cdot 10^{-3}$), вследствие чего увеличение m' от 80 кг/кВт до 200 кг/кВт слабо влияет на математическое ожидание циклового КПД, уменьшая его от 0,48 до 0,40 (рис. 1).

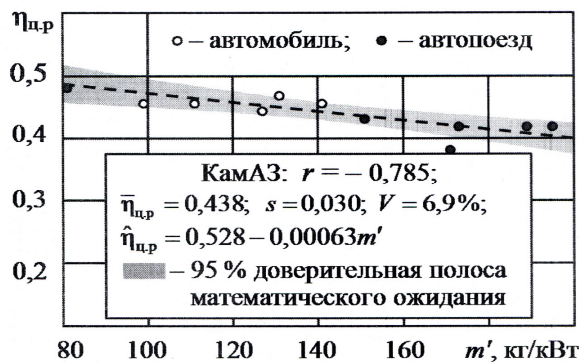


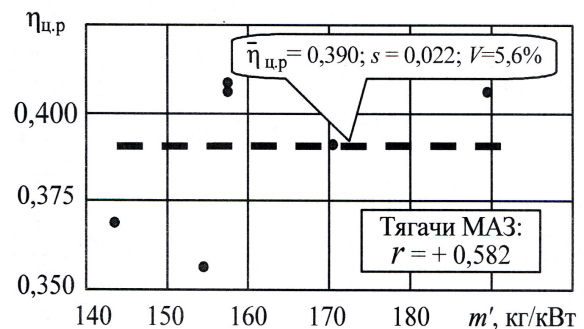
Рис. 1. Значения циклового КПД при разгоне автомобилей и автопоездов КамАЗ

Среднее значение циклового КПД при разгоне автомобилей КамАЗ равно 0,438, при среднем квадратичном отклонении (СКО) индивидуальных значений, равном 0,030.

В табл. 2 и на рис. 2 приведено время разгона до 60 км/ч шести моделей седельных тягачей МАЗ и вычисленные по ним значения циклового КПД при разгоне.

Таблица 2 – Значения циклового КПД при разгоне седельных тягачей МАЗ

Исходные данные				Цикловой КПД брутто
Модель автомобиля и его колесная формула	Полная масса, $\times 10^3, \text{ кг}$	Мощность двигателя, кВт.	Время разгона до 60 км/час, с	
54331, 4x2	24,95	132	65	0,404
54323, 4x2	33,85	220	60	0,356
64226, 6x4	41,85	265	54	0,406
54326, 4x2	37,85	265	54	0,367
64229, 6x4	41,75	243	60	0,398
64221, 6x4	41,77	265	54	0,406
Среднее значение циклового КПД				0,390
СКО индивидуальных значений s				0,022
Коэффициент вариации $V, \%$				5,6

Рис. 2. Взаимосвязь циклового КПД при разгоне и удельной массы m' тягачей МАЗ

Последние не имеют существенной линейной корреляционной связи со значениями массы автомобилей, мощности их двигателей или удельной массы (коэффициенты корреляции в этих случаях равны соответственно плюс 0,15, минус 0,11 и плюс 0,58, оценочное значение t -критерия в последнем случае равно 1,43 при критическом 2,78).

При расчётах можно применять среднее арифметическое значение циклового КПД, равное 0,390.

По данным автомобильных каталогов были определены значения циклового КПД при разгоне современных переднеприводных легковых автомобилей *Lada* (РФ) моделей *Granta, Kalina, Priora u Largus* (здесь и далее в процессе разгона массы легковых автомобилей принимались равными их снаряжен-

ной массе плюс 150 кг). Значения их циклового КПД находятся в интервале от 0,54 до 0,63, среднее значение равно 0,594 при СКО индивидуальных значений, равном 0,025. Корреляция значений циклового КПД со значениями массы автомобиля, мощности двигателя и удельной массы незначительна.

По данным тех же каталогов были определены значения циклового КПД при разгоне и некоторых других легковых автомобилей:

- заднеприводные автомобили *Mercedes-Benz* – среднее значение равно 0,589, СКО индивидуальных значений – 0,080;
- переднеприводные автомобили *Alfa Romeo* – среднее значение равно 0,629, СКО индивидуальных значений – 0,059;
- полноприводные автомобили *BMW X1* – среднее значение равно 0,645, СКО индивидуальных значений – 0,022.

7. Если известны значения величин $\eta_{ц.р}$, m и N_e , то с помощью преобразованного соотношения (5) элементарно определяется время разгона автомобиля до скорости 60 км/ч или 100 км/ч (значение применяемого при этом циклового КПД должно быть получено при разгоне до той же скорости движения)

$$t = \frac{m v^2 10^{-3}}{2 N_e \eta_{ц.р}} = \frac{v^2 10^{-3}}{2 \eta_{ц.р}} m' = b m', \quad (6)$$

где $b = \frac{v^2 10^{-3}}{2 \eta_{ц.р}}$ – коэффициент.

Из соотношения (6) следует:

- установлен предельно простой метод теоретического определения времени разгона автомобилей до заданной скорости v ;
- упомянутое время разгона является функцией от всего лишь одной независимой переменной – удельной массы автомобиля m' ;
- упомянутая функция (прямо пропорциональная) является предельно простой.

На рис. 3 приведен график такой функции для автомобилей и автопоездов КамАЗ, построенный по данным работ [2] и [4].

Коэффициент линейной корреляции между удельной массой автомобилей и автопоездов КамАЗ и их временем разгона равен 0,987, а коэффициент регрессии упомянутого времени на удельную массу – 0,326 при СКО, равном 0,029.

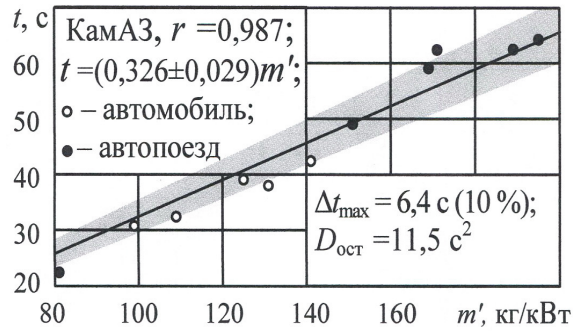


Рис. 3. Регрессионная зависимость времени разгона до скорости движения 60 км/ч автомобилей и автопоездов КамАЗ

Максимальное отклонение индивидуальных экспериментальных значений времени разгона от их математического ожидания равно 6,4 с или 10 %, а остаточная дисперсия равна 11,5 с².

На рис. 4 приведены графики взаимосвязи удельной массы m' семи моделей автомобилей *Audi A1* и времени t их разгона до скорости 100 км/час.

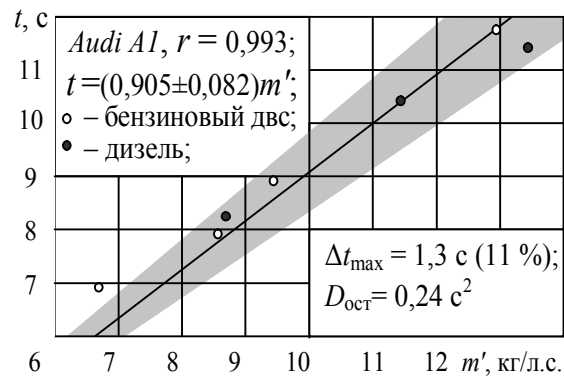


Рис. 4. Связь времени разгона до 100 км/час с удельной массой автомобилей *Audi A1*

Коэффициент корреляции упомянутых величин равен 0,993. Погрешность оценки отдельных значений – не более 1,3 с (11 %) при остаточной дисперсии экспериментальных данных 0,24 с².

Из рис. 4 также следует вывод о несущественном влиянии типа двигателя (бензиновый или дизель) на динамику разгона автомобилей данной марки.

На рис. 5 приведены графики взаимосвязи удельной массы m' и времени t разгона до скорости 100 км/час 15 моделей автомобилей *Lada* (в расчет не приняты автомобили с автоматической коробкой передач, полноприводные, универсалы, фургон и электро-мобиль).

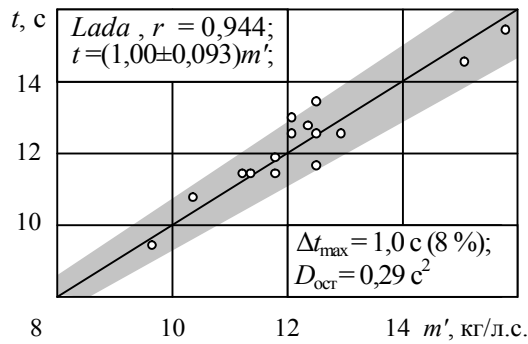


Рис. 5. Связь времени разгона до 100 км/час с удельной массой автомобилей *Lada*

Коэффициент корреляции упомянутых величин равен 0,944, погрешность оценки отдельных значений – не более 1,0 с (8%), остаточная дисперсия данных – 0,29 с².

На рис. 6 приведены графики взаимосвязи удельной массы m' и времени t разгона до скорости 100 км/час одиннадцати моделей автомобилей *Seat*. Коэффициент корреляции упомянутых величин равен 0,982.

Погрешность отдельных оценок – не более 1,6 с (12 %) при остаточной дисперсии экспериментальных данных 0,36 с².

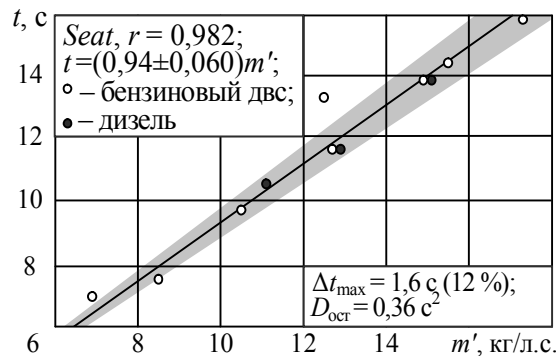


Рис. 6. Связь времени разгона до 100 км/час с удельной массой автомобилей *Seat*

На рис. 7 приведен график взаимосвязи удельной массы m' и времени t разгона до скорости 100 км/час девяносто одной модели автомобилей различных марок – *Alfa Romeo*, *Audi A1*, *Audi A7*, *BMW X1*, *BMW X6*, *Jeep*, *Lada*, *Lada 4x4*, *Seat*, *VW Tiguan*. Рис. 7 подтверждает факт прямо пропорциональной зависимости времени разгона автомобилей от их удельной массы.

Коэффициент регрессии этой зависимости равен 0,94 при СКО, равном 0,032, что соответствует коэффициенту вариации коэффициента регрессии, равному 3,4 %.

Коэффициент корреляции величин m' и t для этой совокупности равен 0,947. Погрешность отдельных оценок не превышает 2,8 с

(15 %) при остаточной дисперсии экспериментальных данных 0,87 с².

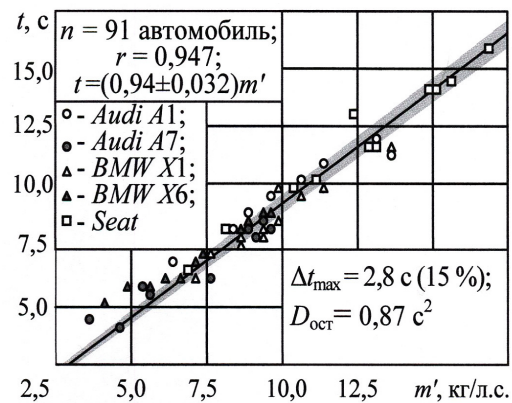


Рис. 7. Регрессионная зависимость времени разгона до 100 км/ч 91-й модели легковых автомобилей от удельной массы m' (точками обозначены не все автомобили)

При значениях удельной массы, меньших 7 кг/л.с, на рис. 7 наблюдается систематическое превышение экспериментальных значений времени разгона над расчетными.

Это объясняется вступлением в действие ещё одного фактора – ограничения силы тяги колёс по их сцеплению с дорогой, о существовании которого до настоящего момента не упоминалось. Он определяет минимально возможное по сцеплению значение времени достижения скорости 100 км/час: это время не может быть меньше, чем значение отношения $2,83/(\lambda\mu)$, где λ – коэффициент использования сцепного веса автомобиля, μ – коэффициент сцепления колёс с дорогой.

8. Установление факта прямо пропорциональной зависимости $t = bm'$ позволяет отказаться от принятого в настоящее время в теории автомобиля более сложного представления времени разгона в виде гиперболической функции от удельной мощности автомобиля $N_{уд}$, измеряемой в кВт/т (рис. 8).

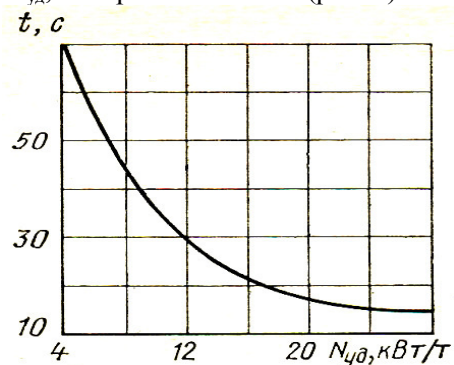


Рис. 8. Общепринятая в теории автомобиля зависимость времени разгона автомобилей от их удельной мощности $N_{уд}$

9. Соотношение (6) предельно упрощает проверку значения циклового КПД (5) – она сводится к сопоставлению расчетного (6) и экспериментально полученного значений времени разгона t .

10. Соотношение (5), разрешенное относительно мощности двигателя N_e , представляет собой решение ещё одной существенной задачи теории автомобиля: определение мощности двигателя, минимально необходимой для обеспечения разгона автомобиля с заданной массой m за заданное время t до заданной скорости v

$$N_e = \frac{mv^2 10^{-3}}{2t \eta_{ц.п}}. \quad (7)$$

11. Это же соотношение может быть положено в основу экспресс-метода оценки фактической мощности двигателей автомобилей, значение циклового КПД которых известно. Реализация этого метода возможна в условиях любого автотранспортного предприятия – роль нагрузочного устройства будет выполнять сам разгоняемый автомобиль. В качестве измерительного оборудования необходимы только секундомер и спидометр.

12. Соотношение (5), разрешенное относительно полной массы m , позволяет определять значение этой массы, максимально допустимое с точки зрения обеспечения разгона автомобиля за заданное время t при известной мощности двигателя N_e

$$m_{\max} = \frac{2N_e t \eta_{ц.п} 10^3}{v^2}. \quad (8)$$

13. Цикловой КПД (5) характеризует энергетическую эффективность разгона автомобиля вместе с грузом, т.е. он является энергетическим КПД брутто. Но конечным показателем энергетической эффективности транспортного процесса должен быть КПД нетто, вычисляемый на основании кинетической энергии T_r одного только перевозимого груза

$$T_r = \frac{m_r v^2}{2} = \frac{(m k_r) v^2}{2} \equiv \left(\frac{m v^2}{2} \right) k_r, \quad (9)$$

где m_r – масса перевозимого груза, кг; k_r – коэффициент грузоподъемности автомобиля.

Разделив величину (9) на (3), получаем соотношение для вычисления циклового КПД нетто при разгоне автомобиля

$$\eta_{ц.п.н} = \left(\frac{m v^2 10^{-3}}{2 N_e t} \right) k_r = \eta_{ц.п} k_r. \quad (10)$$

Как видим, этот КПД представляет собой произведение КПД брутто на коэффициент грузоподъемности автомобиля.

Согласно данным работы [2], автомобиль КамАЗ-5320 имеет полную массу 15,3 т и грузоподъемность 8,0 т, что соответствует коэффициенту грузоподъемности 0,523. Энергетический КПД брутто при разгоне этого автомобиля, вычисленный по данным работы [4] и соотношению (5), равен 0,453, а КПД нетто – 0,237.

Значения цикловых КПД можно умножать ещё и на эффективный КПД двигателя η_e , что приведёт к получению значений топливно-механического КПД автомобиля в процессе разгона – тоже брутто и нетто. Например, приняв для дизельного двигателя $\eta_e = 0,35$, получаем топливно-механический КПД брутто при разгоне автомобиля КамАЗ-5320, равный 0,159, а КПД нетто – 0,083.

14. В соотношения (5)–(10) не входит ни одна физическая величина, которая ограничивала бы применимость упомянутых соотношений только областью автомобильного транспорта. Следовательно, эти соотношения являются справедливыми для любого транспортного средства, сила инерции которого в его поступательном движении является доминирующей по сравнению с другими силами, противодействующими разгону: велосипеда, мотоцикла, судна, железнодорожного состава или аэросаней.

Например, коэффициенты регрессии времени разгона автомобилями КамАЗ и легковых автомобилей существенно разные – 0,326 и 0,942 (рис. 2 и 7). Но это обусловлено тем, что время разгона грузовых автомобилей определяется до 60 км/ч, а легковых – до 100 км/ч, а также различными единицами измерения удельной массы автомобилей. Если перейти в уравнении для легковых автомобилей до скорости 60 км/ч и до удельной массы в кг/кВт, то коэффициент регрессии окажется равным 0,249, что на 24 % меньше, чем у автомобилей КамАЗ. Эта разница характеризует отличия динамических свойств,

обусловленные особенностями конструкции грузовых и легковых автомобилей.

В заключение с помощью полученных результатов проанализируем упомянутую в начале статьи ситуацию с разгоном автопоездов на базе КамАЗ-5460 и *Scania R164LA480*.

Расчет циклового КПД при их разгоне, выполненный по соотношению (5), приводит к значениям соответственно 0,428 и 0,787.

Первое из них практически совпадает со средним значением циклового КПД при разгоне автомобилей и автопоездов КамАЗ, равным 0,438, что можно считать подтверждением его правильности.

А цикловой КПД при разгоне автопоезда *Scania R164LA480* в 1,84 раза выше, чем у автопоезда КамАЗ, в 1,34 раза выше, чем у легковых автомобилей *Mercedes-Benz*, в 1,25 раза – чем у *Alfa Romeo* и в 1,22 раза выше – чем в *BMW X1*.

Однако маловероятно, чтобы грузовик имел энергетический КПД при разгоне более высокий, чем у лучших легковых автомобилей. Это подкрепляет сомнения в достоверности времени разгона автопоезда *Scania* (равного 20,0 с), на основании которого было вычислено значение его циклового КПД.

Для проверки предположим, что цикловой КПД при разгоне автопоезда *Scania R164LA480* примерно такой, как у лучших образцов КамАЗ, и равен, например, 0,5. Тогда время его разгона до скорости 60 км/ч, вычисленное согласно (6), равно 31,5 с.

А если принять цикловой КПД равным 0,645 (как у полноприводных легковых автомобилей *BMW X1*), то и в этом случае время разгона составит 24,4 с, что на 22 % больше, чем рекламируемое автомобильным заводом *Scania* значение 20,0 с.

Таким образом, есть все основания полагать, что время разгона автопоезда *Scania R164LA480* полной массой 40 т не может равняться 20 с. Оно недостоверно.

А с помощью соотношений (7) и (8) можно оценить условия, при которых упомянутое время могло бы равняться 20,0 с:

– из выражения (7) следует, что это было бы возможно при мощности двигателя 556 кВт, а не при фактической мощности 353 кВт;

– из выражения (8) – что при имеющейся мощности двигателя 353 кВт это было бы возможным при массе автопоезда $25,4 \cdot 10^3$ кг, а не при фактической массе $40 \cdot 10^3$ кг.

Выводы

Благодаря рассмотрению процесса разгона автомобиля в энергетической области и абстрагированию от второстепенных факторов получены предельно простые соотношения, характеризующее наиболее общие закономерности этого режима движения «в целом». В частности, из анализа построенных соотношений следует:

– для оценки энергетической эффективности автомобилей в процессе разгона необходимы и достаточны значения всего четырех ключевых переменных – t , v , N_e и m ;

– среднее значение энергетического циклового КПД при разгоне автомобилей и автопоездов МАЗ и КамАЗ равно соответственно 0,39 и 0,44, у легковых автомобилей оно варьирует в пределах от 0,59 (переднеприводные автомобили *Lada* и заднеприводные *Mercedes-Benz*) до 0,65 (полноприводной автомобиль *BMW X1*);

– проверка значения циклового КПД при разгоне того или иного автомобиля предельно проста – она сводится к сопоставлению расчетного и экспериментально полученного значений времени разгона;

– время разгона автомобилей до заданной скорости является элементарной прямо пропорциональной функцией от единственной переменной – удельной массы автомобиля;

– это позволяет отказаться от принятого в настоящее время существенно более сложного представления времени разгона в виде гиперболической функции от удельной мощности автомобиля;

– построенное соотношение для определения циклового КПД при разгоне дает возможность оценивать достоверность значений времени разгона автомобилей, предоставляемых заводами-изготовителями;

– изложенные в данной работе материалы справедливы для любого транспортного средства, сила инерции которого (в его поступательном движении) является доминирующей по сравнению с другими силами, противодействующими разгону.

Литература

1. Bogdanović V. The research of vehicle acceleration at signalized intersections / V. Bogdanović, N. Ruškić, Z. Papić // *Promet – Traffic&Transportation*. – 2013. – Vol. 25, no. 1. – P. 33–42.
2. Карабцев В.С. Расчетная оценка динамических характеристик грузовых АТС / В.С. Карабцев, Д.Х. Валеев // *Автомобильный транспорт*.

бильная промышленность. – 2004. – №4. – С. 7–9.

3. Bokare P.S. Acceleration-Deceleration Behaviour of Various Vehicle Types / P.S. Bokare, A.K. Maurya // *Transportation Research Procedia*. – 2017. – Vol. 25. – P. 4733–4749.
4. Пожидаев С.П. Экспресс-оценка динамических свойств автомобилей / С.П. Пожидаев // *Автомобильная промышленность*. – 2013. – №9. – С. 8–9.
5. Калькулятор для оценки времени разгона автомобилей до 60 миль в час // *Материалы сайта*. – 2016. – Режим доступа: <https://www.carspecs.us/calculator/0-60>.
6. Подригало М.А. Мощность двигателя и КПД автомобиля при разгоне / М.А. Подригало, Н.М. Подригало, В.Л. Файст // *Автомобильная промышленность*. – 2008. – № 8. – С. 12–16.

References

1. Bogdanović, V., Ruškić, N, Papić, Z. (2013). The research of vehicle acceleration at signalized intersections. *Promet – Traffic&Transportation*, 25, 1, 33-42. Available at: <http://fpz.unizg.hr/traffic/index.php/PROMTT/article/viewFile/1245/1035>.
2. Karabtsev, V.S., Valeyev, D.KH. (2004). Raschetnaya otsenka dinamicheskikh kharakteristik gruzovykh ATS [Estimated estimation of dynamic characteristics of cargo]. *Avtomobilnaya promyshlennost - Automobile industry*, 4, 7-9 [in Russian].
3. Bokare P.S., Maurya A.K. (2017). Acceleration-Deceleration Behaviour of Various Vehicle Types // *Transportation Research Procedia* Volume 25, 4733-4749.
4. Pozhidayev, S.P. (2013). Ekspress-otsenka dinamicheskikh svoystv avtomobiley [Express assessment of the dynamic properties of cars]. *Avtomobilnaya promyshlennost - Automobile industry*, 9, 8-9 [in Russian].
5. Kal'kulyator dlya otsenki vremeni razgona avtomobiley do 60 mil' v chas [Calculator for estimating the acceleration time of vehicles up to 60 miles per hour]. www.carspecs.us. Available at – <https://www.carspecs.us/calculator/0-60>.
6. Podrigalo, M.A., Podrigalo, N.M., Fayst, V.L. (2008). Moshchnost' dvigatelya i KPD avtomobilya pri razgone [Engine power and efficiency of the car during acceleration]. *Avtomobilnaya promyshlennost - Automobile industry*, 8, 12-16 [in Russian].

Пожидаев Сергей Петрович, к.т.н., ст. науч. сотрудник, Национальный научный центр «Институт механизации и электрификации сельского хозяйства», Украина, пос. Глеваха-1 Киевской области, (+38050)246-40-65, spozhy2@ukr.net

THEORETICAL INVESTIGATION OF THE CARS CIRCUIT

Pozhydaiev S., National scientific centre «Institute for Agricultural Engineering and Electrification»

Abstract. Problem. Existing methods of determining the theoretical vehicle acceleration time to a predetermined speed is complex and is only symbolic. As a result, the theory of the car can neither confirm nor disprove the numerical values of the acceleration time of real cars provided by manufacturers. **Goal.** The aim of the work is to build the calculation relationships that describe the most basic characteristics of the process of dispersal of the car «in general». **Methodology.** It is achieved by considering the acceleration process of the vehicle to the energy field when abstracting the maximum possible number of minor factors. As a starting point, it was assumed that the measure of the useful effect when dispersing a car on a horizontal road is its kinetic energy. Dispersal was considered as a process of «pumping» the car with kinetic energy, into which some of the mechanical work performed by the engine is converted. **Results, originality, practical value.** Due to this, extremely simple ratios are obtained that characterize the most common regularities of the process of dispersal of a car. It was established that for evaluating the energy efficiency of cars during acceleration are necessary and sufficient value in all four key variables – the specified speed, acceleration time to it, the nominal engine power and vehicle weight. It was established that the vehicle is in acceleration up to the set speed is directly proportional to a function of the specific weight of the car. This allows us to abandon the now more complicated representation of the acceleration time in the form of a hyperbolic function of the specific power of the car. The average values of the energy cyclic efficiency at the acceleration of a number of cars and trucks are determined. They make it possible to assess the accuracy of the values of the time of acceleration of vehicles, provided by the manufacturer. The results obtained are valid for any vehicle whose inertial force (in its forward motion) is dominant in comparison with other forces opposing acceleration.

Key words: car, acceleration, speed, engine power, cyclic acceleration efficiency.

ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗГОНУ АВТОМОБІЛЯ

Пожидаєв С.П., Національний науковий центр
«Інститут механізації та електрифікації
сільського господарства»

***Анотація.** Існуюча методика теоретичного визначення часу розгону автомобіля до заданої швидкості руху є складною і має всього лише демонстраційний характер. Внаслідок цього теорія автомобіля не може ні підтвердити, ні спростувати числові значення часу розгону автомобілів, які надаються заводами-виробниками. Метою роботи є побудова найбільш простих розрахункових співвідношень, що дають опис основних характеристик процесу розгону автомобіля «в цілому». Вона досягнута шляхом розгляду процесу розгону автомобіля в енергетичному просторі при абстрагуванні від максимально можливої кількості другорядних факторів. Як вихідне положення було прийнято, що мірою корисного ефекту при розгоні автомобіля на горизонтальній дорозі є його кінетична енергія. Розгін розглядався як процес «накачування» автомобіля кінетичною енергією, в яку перетворюється деяка частина механічної роботи, що виконується двигуном. Завдяки цьому отримано*

гранично прості співвідношення, що характеризують найбільш загальні закономірності процесу розгону автомобіля. Встановлено, що для оцінки енергетичної ефективності автомобілів у процесі розгону необхідно і достатньо значень всього чотирьох ключових змінних – заданої швидкості руху, часу розгону до неї, номінальної потужності двигуна і маси автомобіля. Встановлено, що час розгону автомобілів до заданої швидкості є прямо пропорційною функцією від питомої маси автомобіля. Це дозволяє відмовитися від прийнятого в наш час більш складного уявлення часу розгону у вигляді гіперболічної функції від питомої потужності автомобіля. Визначено середні значення енергетичного циклового ККД при розгоні ряду легкових і вантажних автомобілів. Вони дають можливість оцінювати достовірність значень часу розгону автомобілів, що надаються заводами-виробниками. Отримані результати є справедливими для будь-якого транспортного засобу, сила інерції якого (в його поступальному русі) є домінуючою в порівнянні з іншими силами, які протидіють розгону.

***Ключові слова:** автомобіль, розгін, швидкість, потужність, цикловий ККД при розгоні.*
