

## Оценка времени разгона автомобилей

С.П. Пожидаев, к.т.н., НУБИП Украины

Динамические свойства автомобиля играют решающую роль при его разгонах после трогания с места, при обгонах и т.п. В качестве основной характеристики динамических свойств рассматривается время  $t$  разгона до некоторой заданной скорости движения, которое определяется экспериментальным путём. Точное и оперативное определение данного показателя теоретическим путём затруднительно по ряду объективных обстоятельств.

Доминирующее влияние на динамические свойства автомобилей оказывает только его удельная масса  $m'$ , представляющая собой отношение массы автомобиля к номинальной мощности его двигателя [1]. Благодаря этому для приближённой теоретической оценки времени разгона автомобиля до любой заданной скорости движения нужно иметь информацию только о его удельной массе и значениях некоторых коэффициентов, характеризующих статистическую взаимосвязь между величинами  $m'$  и  $t$  у автомобилей, подобных исследуемому.

**Целью работы** является установление тесноты статистической взаимосвязи времени разгона современных автомобилей с их удельной массой и максимальной скоростью движения, которая также характеризует динамические свойства автомобилей, а также значений коэффициентов регрессии, связывающих эти величины.

**Методы исследований** – корреляционный и регрессионный анализ [2]. Для каждого набора данных  $m'$  и  $t$  вычисляли коэффициент линейной корреляции  $r$ , проверяли его статистическую значимость и строили аппроксимирующие уравнения двух видов:

1) предельно простое уравнение прямо пропорциональной зависимости  $t = (b \pm s)m'$ , где  $b$  – коэффициент пропорциональности, а  $s$  – его среднее квадратическое отклонение;

2) более сложное уравнение линейной зависимости вида  $t = a + bm'$ . Для него рассчитывали 95-процентный коридор доверия.

В качестве меры неточности аппроксимирующих уравнений применялись два отдельных пока-

зателя: максимальное значение  $\Delta t_{\max}$  погрешности воспроизведения отдельных экспериментальных значений, наблюдающееся в данном наборе данных, и остаточная дисперсия  $D_{\text{ост}}$  последних относительно линии математического ожидания выходного параметра.

При анализе грузовых автомобилей в расчёт принималась их полная масса, при анализе легковых – масса в снаряжённом состоянии.

**Результаты исследований.** На рисунке 1 приведены графики взаимосвязи удельной массы  $m'$  и времени  $t$  разгона до скорости 60 км/час автомобилей и автопоездов «КамАЗ», значения которых ( $m'$  и  $t$ ) заимствованы из ранее опубликованных материалов [1]. Коэффициент корреляции  $r$  упомянутых показателей очень высок (0,987) и является статистически значимым.

Аппроксимация данных прямо пропорциональной зависимостью приводит к уравнению  $t = (0,326 \pm 0,029)m'$ , обеспечивающему погреш-

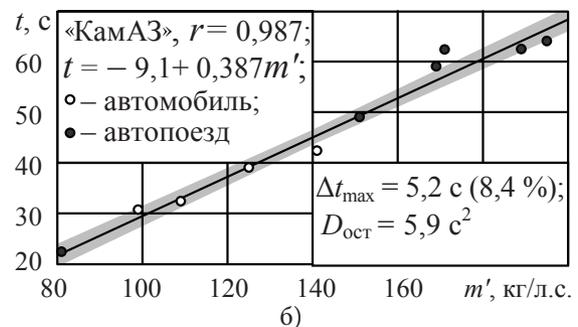
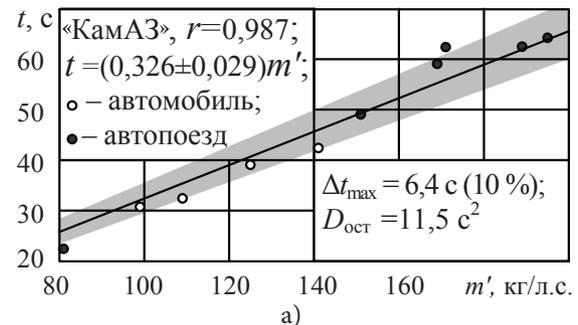


Рис. 1 – Время разгона  $t$  до скорости 60 км/час и удельная масса  $m'$  автомобилей и автопоездов «КамАЗ»

ность отдельных значений  $\Delta t_{\max}$  не более 6,4 с (10%) (рис. 1а). Остаточная дисперсия экспериментальных данных при этом равна 11,5 с<sup>2</sup>.

Аппроксимация линейной зависимостью приводит к уравнению вида , имеющему погрешность отдельных значений  $\Delta t_{\max}$  до 5,2 с (8,4%) и остаточную дисперсию экспериментальных данных 5,9 с<sup>2</sup> (рис. 1б).

На рисунке 2 приведены графики взаимосвязи удельной снаряжённой массы  $m'$  и времени  $t$  разгона до скорости 100 км/час 15 моделей автомобилей Lada (в расчёт не приняты автомобили с автоматической коробкой передач, полноприводные, универсалы, фургон и электромобиль) [2]. Коэффициент корреляции упомянутых величин равен 0,944.

Аппроксимация прямо пропорциональной зависимостью обеспечивает погрешность отдельных значений не более 1,0 с (8%) при остаточной дисперсии экспериментальных данных 0,29 с<sup>2</sup> (рис. 2а).

Аппроксимация линейной зависимостью даёт такую же предельную погрешность, но остаточная дисперсия уменьшается до 0,24 с<sup>2</sup> (рис. 2б).

На рисунке 3 приведены графики взаимосвязи удельной массы  $m'$  и времени  $t$  разгона до скорости 100 км/час одиннадцати моделей автомобилей Seat [3]. Коэффициент корреляции упомянутых величин равен 0,982.

Аппроксимация прямо пропорциональной зависимостью обеспечивает погрешность не более 1,6 с (12%) при остаточной дисперсии экспериментальных данных 0,36 с<sup>2</sup> (рис. 3а).

Аппроксимация линейной зависимостью обеспечивает погрешность не более 1,5 с (12%), остаточная дисперсия при этом уменьшается до 0,32 с<sup>2</sup> (рис. 3б). Из рисунка 3 также следует вывод об отсутствии существенного влияния типа двигателя на динамику разгона автомобилей данной марки.

На рисунке 4 приведён график взаимосвязи удельной снаряжённой массы  $m'$  и времени  $t$  разгона до скорости 100 км/час 91 модели автомобилей различных марок (Alfa Romeo, Audi A1, Audi A7, BMW X1, BMW X6, Jeep, Lada, Lada 4x4, Seat, VW Tiguan, точками на рисунке обозначены не все марки автомобилей).

Коэффициент корреляции величин  $m'$  и  $t$  для этой совокупности равен 0,947. Аппроксимация прямо пропорциональной зависимостью обеспечивает погрешность не более 2,8 с (15%) при остаточной дисперсии экспериментальных данных 0,87 с<sup>2</sup>.

Аппроксимация линейной зависимостью вида  $t = (0,60 \pm 0,887)m'$  обеспечивает погрешность отдельных значений не более 3,2 с (17%), остаточная дисперсия при этом несколько уменьшается – до 0,84 с<sup>2</sup>.

Рисунок 4 свидетельствует и о том, что при малых значениях времени разгона  $t$  (6 с и меньше) возникает систематическое превышение экспериментальных значений времени разгона над расчётным. Это объясняется вступлением в действие ещё одного фактора – ограничения по сцеплению колёс с дорогой. Согласно ему время достижения

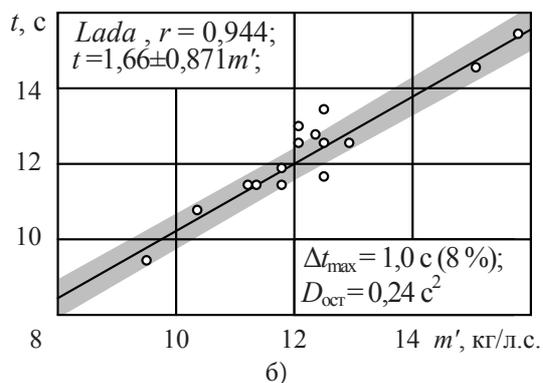
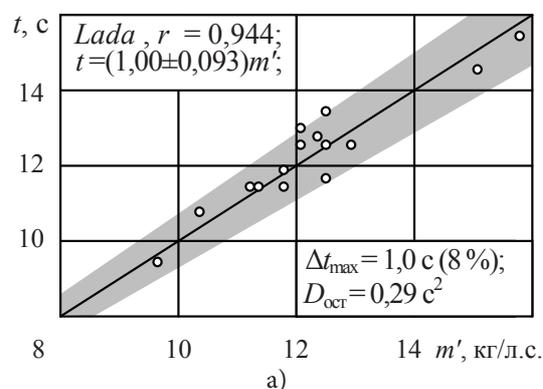


Рис. 2 – Время разгона до 100 км/час и удельная масса автомобилей Lada

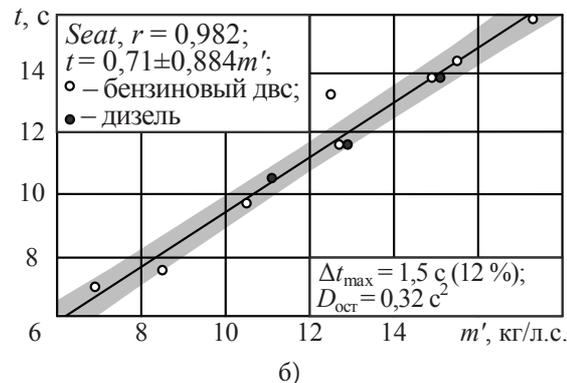
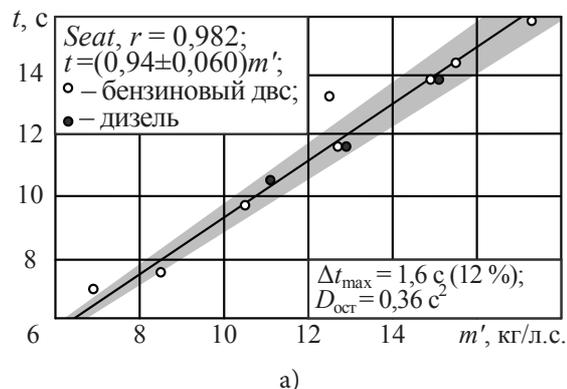


Рис. 3 – Время разгона до 100 км/час и удельная масса автомобилей Seat

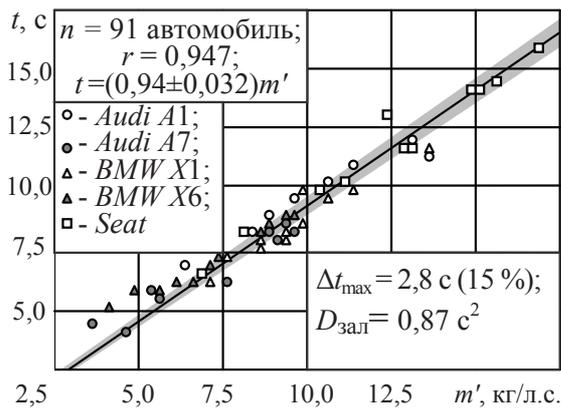
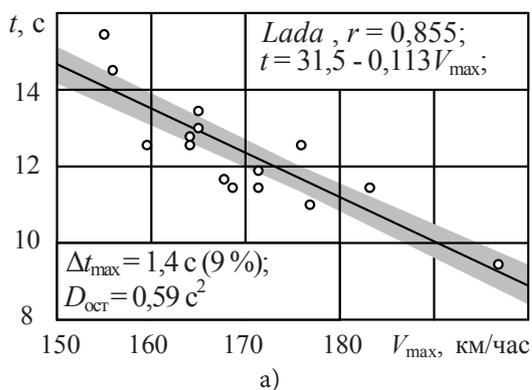
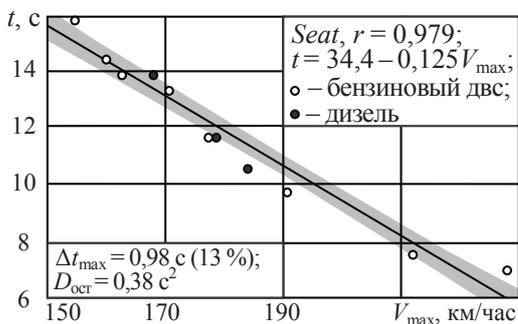


Рис. 4 – Время разгона до 100 км/час и удельная масса различных легковых автомобилей



а)



б)

Рис. 5 – Регрессия времени разгона автомобилей Lada и Seat на их максимальную скорость движения  $V_{max}$

скорости 100 км/час, выраженное в секундах, не может быть меньше отношения  $2,83/(\lambda\mu)$ , где  $\lambda$  – коэффициент использования сцепного веса автомобиля;  $\mu$  – коэффициент сцепления колёс с дорогой.

На примере всех упомянутых выше автомобилей было также проверено предположение о наличии

корреляционной связи между временем разгона и максимальной скоростью движения автомобиля. Результаты, полученные для автомобилей Lada и Seat, представлены на рисунке 5.

Он показывает, что коэффициент корреляции между временем разгона данных автомобилей и их максимальной скоростью достигает 0,855–0,979. Нуль-гипотеза о его несущественности, проверенная с помощью  $t$ -критерия, отклоняется на уровне 95% (оценочное значение  $t$ -критерия во всех случаях превышает 5,94 при критическом значении, не превосходящем 2,57).

Линейная аппроксимация регрессии времени разгона автомобилей Lada на их максимальную скорость движения обеспечивает погрешность отдельных значений не более 1,4 с (9%) при остаточной дисперсии экспериментальных данных относительно линии регрессии, равной  $0,59 \text{ с}^2$ .

Линейная аппроксимация регрессии времени разгона автомобилей Seat на их максимальную скорость движения обеспечивает погрешность отдельных значений не более 0,98 с (13%) при остаточной дисперсии экспериментальных данных относительно линии регрессии, равной  $0,38 \text{ с}^2$ .

**Выводы.** Установлена тесная корреляционная связь между временем разгона автомобилей до заданной скорости, удельной массой и максимальной скоростью движения. Коэффициент линейной корреляции между этими величинами у автомобилей «КамАЗ», Lada и Seat равен 0,94–0,98. Получены уравнения регрессии времени разгона этих автомобилей на их удельную массу. Они дают возможность оценивать упомянутое время с абсолютной погрешностью не более 6,4, 1,0 и 1,6 с соответственно. Получено уравнение прямо пропорциональной зависимости времени разгона 91 модели легковых автомобилей от их удельной массы. Оно даёт возможность оценивать упомянутое время с погрешностью не более 2,8 с при остаточной дисперсии экспериментальных данных  $0,87 \text{ с}^2$ . Получены уравнения регрессии времени разгона автомобилей Lada и Seat на их максимальную скорость движения. Они дают возможность оценивать упомянутое время с погрешностью не более 1,4 и 0,98 с соответственно.

### Литература

1. Пожидаев С.П. Об оценке времени разгона автомобилей до заданной скорости // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2013. № 5 (43). С. 75–76.
2. Автомобили мира 2014. М.: Третий Рим, 2013. 224 с.
3. Закс Л. Статистическое оценивание. М.: Статистика, 1976. 598 с.