

## АВТОТРАНСПОРТНЫЕ СРЕДСТВА

УДК 629.058

### ОЦЕНКА ЭНЕРГОЗАТРАТ ВОДИТЕЛЯ НА ТОРМОЗНОЕ УПРАВЛЕНИЕ АВТОМОБИЛЕМ

**А.Н. Туренко, профессор, д.т.н., С.Н. Шуклинов, доцент, к.т.н., ХНАДУ**

***Аннотация.** Предложена методика оценки энергозатрат водителя на тормозное управление автомобилем. Методика оценки учитывает энергозатраты на приведение в действие тормозной системы и энергозатраты при установившемся торможении.*

***Ключевые слова:** тормозная диаграмма, энергозатраты, усилие на педали, перемещение педали, работа, эквивалентное перемещение педали.*

### ОЦІНКА ЕНЕРГОВИТРАТ ВОДІЯ НА ГАЛЬМІВНЕ КЕРУВАННЯ АВТОМОБІЛЕМ

**А.М. Туренко, професор, д.т.н., С.М. Шуклінов, доцент, к.т.н., ХНАДУ**

***Анотація.** Запропоновано методику оцінки енерговитрат водія на гальмівне керування автомобілем. Методика оцінки враховує енерговитрати на приведення у дію гальмівної системи й енерговитрат під час встановленого гальмування.*

***Ключові слова:** гальмівна діаграма, енерговитрати, зусилля на педалі, переміщення педалі, робота, еквівалентне переміщення педалі.*

### ESTIMATION OF DRIVER'S POWER EXPENSES OF CAR BRAKE MANAGEMENT

**A. Turenko, Professor, Doctor of Technical Science, S. Shuklinov, Associate Professor,  
Candidate of Technical Science, KhNADU**

***Abstract.** The estimation method of driver's power expenses for the brake management is offered. The estimation method takes into account power expenses at driving in action of the brake system and power expenses at holding the pressed brake pedal.*

***Key words:** braking diagrams, power inputs, pedal force, pedal movement, work, equivalent pedal movement.*

#### **Введение**

Тормозное управление автомобилем существенно определяет активную безопасность системы «водитель–автомобиль–дорога» (ВАД). Водитель является управляющим звеном в данной системе, поэтому его физиологическое состояние не менее важно для качественного функционирования всей системы. Таким образом, корректная оценка энергозатрат на тормозное управление автомоби-

лем, позволит установить эргономические показатели, обеспечивающие снижение физического напряжения водителя и, как следствие, улучшение его психологического состояния и повышение безопасности функционирования системы ВАД.

#### **Анализ публикаций**

При проектировании тормозного привода автомобиля используются различные подхо-

ды по оценке нагруженности водителя. Так, в работе [1] нагруженность водителя оценивается с использованием силовых критериев в форме приводного усилия на педали, необходимого для создания максимального тормозного момента. Как показали исследования [2, 8], более рациональным является оценка энергозатрат водителя по работе, затрачиваемой на включение тормозов. Аналогичный подход по затратам энергии водителя использован для оценки эффективности тормозного привода в работе [3] и для оценки энергопреобразующих свойств тормозных систем [4].

При торможении автомобиля энергозатраты водителя расходуются на приведение в действие тормозной системы и удержание ее до окончания процесса торможения.

Использование силовых критериев в работе [1] позволяет определить лишь возможность создания водителем требуемого тормозного момента на колесах автомобиля. Однако рекомендуемое при этом ограничение максимального хода педали тормоза, причем без учета величины усилия, по сути, является косвенным ограничением работы водителя на приведение в действие тормозной системы при экстренном торможении автомобиля.

В известной литературе [1–4, 8] приведена оценка энергозатрат водителя, но только на динамическую стадию – перемещение педали тормоза с заданным усилием. В отмеченных работах отсутствуют рекомендации, позволяющие определить энергозатраты водителя на тормозное управление в течение всего процесса торможения.

### Цель и постановка задачи

Поскольку тормозная система автомобиля – это следящая система, то очевидно, что затраты энергии на тормозное управление пропорциональны энергии торможения автомобиля. При торможении автомобиля водитель прикладывает усилие  $F_n$  к педали и удерживает ее с этим усилием до окончания процесса. При этом его энергозатраты на управление численно равны работе, совершаемой при нажатии и удерживании педали тормоза. Процесс управления торможением автомобиля можно разделить на динамический и статический режимы.

Цель исследования – определение энергозатрат водителя в динамическом и статическом режимах процесса управления торможением автомобиля.

### Работа тормозной силы автомобиля и энергозатраты водителя

Торможение автомобиля определяется как искусственное сопротивление движению, имеющее своей целью регулирование скорости. Эффективность торможения оценивается количественной характеристикой – замедлением автомобиля. Наиболее полно тормозной процесс характеризуется не каким-либо отдельным значением замедления, а его зависимостью от времени. Упрощенная форма этой зависимости, называемая тормозной диаграммой [5], представлена на рис. 1. На данном рисунке представлены зависимости: скорости движения автомобиля  $V_a$ , усилия на педали тормоза  $F_n$  и тормозной силы автомобиля  $P_T$  от времени  $\tau$ .

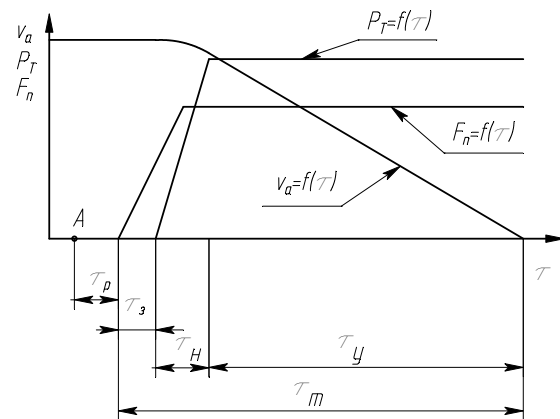


Рис. 1. Схема тормозной диаграммы торможения автомобиля до полной остановки: точка  $A$  – сигнал начала торможения;  $\tau_p$  – время реакции водителя;  $\tau_z$  – время запаздывания тормозной системы;  $\tau_n$  – время нарастания тормозной силы автомобиля  $P_T$ ;  $\tau_y$  – время установившегося торможения;  $\tau_m$  – время торможения автомобиля

При торможении автомобиля его кинетическая энергия преобразуется тормозными механизмами и шинами в тепловую энергию. Энергия, затраченная на торможение автомобиля, может быть определена как работа, совершенная тормозной силой  $P_T$

$$A_{P_T} = \int_{V_0}^{(V_0 - \frac{S_H}{\tau_n})} P_T dS + P_T^y S_y, \quad (1)$$

где  $P_T^y$  – установившееся значение тормозной силы автомобиля;  $V_0$  – скорость автомобиля в начале торможения.

Для определения работы тормозной силы автомобиля и оценки энергозатрат водителя на тормозное управление автомобилем схему тормозной диаграммы рационально представить в виде зависимости тормозной силы  $P_T$  и усилия  $F_n$ , прикладываемого к органу управления – педали тормоза от тормозного пути  $S_T$  (рис. 2).

Графически указанная работа, при допущении линейного нарастания  $P_T = f(\tau)$ , может быть отражена на диаграмме  $P_T = f(S_T)$  в виде площади криволинейной трапеции (рис. 2). Так как величина тормозного пути определяется зависимостью [6]

$$S_T = S_s + S_n + S_y = V_0 \tau_c + \frac{1}{2} V_0 \tau_n + \frac{V_0^2}{2zg}, \quad (2)$$

где  $z$  – коэффициент торможения;  $g$  – ускорение свободного падения.

Работа тормозной силы автомобиля соответственно может быть определена как сумма

$$A_{P_T} = \frac{P_T V_0 \tau_n}{4} + \frac{P_T V_0^2}{2zg} = P_T \left( \frac{V_0 \tau_n}{4} + \frac{V_0^2}{2zg} \right). \quad (3)$$

Для оценки работы, совершаемой тормозной силой  $P_T$  при ограничении сцепления шин с опорной поверхностью  $\phi_x$ , удобно использовать диаграмму, представленную на рисунке 3. При этом допускают, что темп нарастания  $P_T$  сохраняется таким же, как и при максимальном сцеплении  $\phi_x^{\max}$ . Кривые  $a, b, c$  отражают геометрическое место точек, соответствующих минимальному тормозному пути для данного максимального значения коэффициента сцепления. Эти же кривые определяют тормозной путь при торможении с определенным коэффициентом торможения  $z$ . Причем скорость автомобиля в начале

торможения соответствует условию  $V_{oa} < V_{ob} < V_{oc}$ . В процессе торможения с коэффициентом торможения  $z$  работа тормозной силы определяется ординатой « $G_a \cdot z$ » и абсциссой  $S_T$  (рис. 3). Очевидно, что с увеличением начальной скорости торможения возрастает работа, совершенная тормозной системой автомобиля.

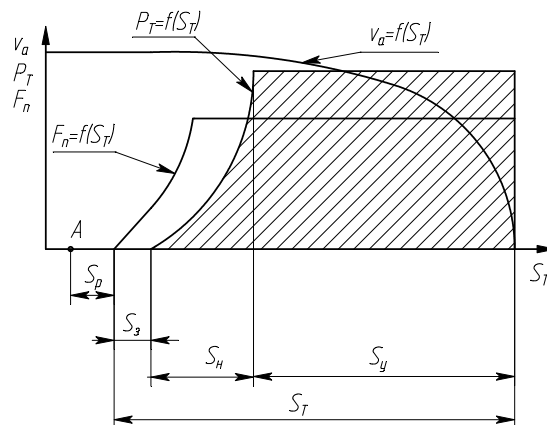


Рис. 2. Схема тормозной диаграммы автомобиля с зависимостью  $F_n = f(S_T)$ :  $S_p, S_s, S_n, S_y, S_T$  – путь, пройденный автомобилем соответственно за время  $\tau_p, \tau_s, \tau_n, \tau_y, \tau_m$ .

Поскольку тормозная система автомобиля является следящей системой управления, то справедлива запись

$$A_{P_T} = K_3 A_{F_n}, \quad (4)$$

где  $K_3$  – коэффициент эффективности тормозной системы;  $A_{F_n}$  – работа, совершаемая водителем в процессе торможения автомобиля.

Из выражения (4) определим работу водителя на тормозное управление как функцию работы полной тормозной силы

$$A_{F_n} = \frac{A_{P_T}}{K_3}. \quad (5)$$

Однако в зависимости (3) при определении полной тормозной силы учитывалась составляющая силы сопротивления качению и силы сопротивления воздуха. Поэтому работа, определенная по выражению (5), будет несколько больше, чем работа, которую выполнил водитель при управлении торможением автомобиля. Кроме этого при этом не

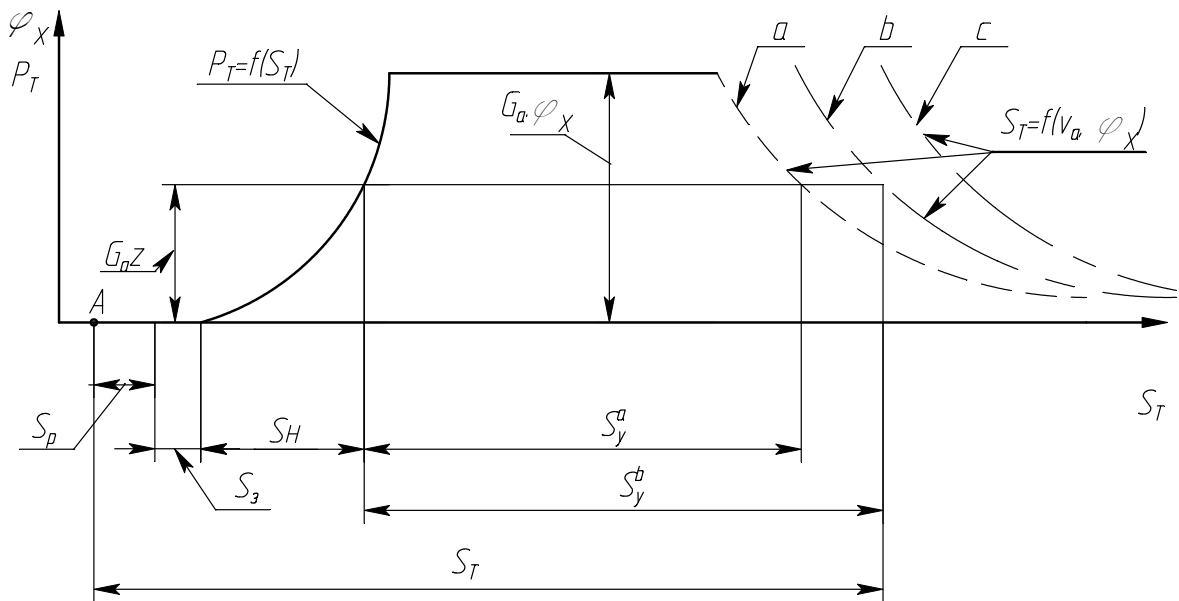


Рис. 3. Зависимость  $P_T = f(S_T, \varphi_x)$ :  $G_a$  – вес автомобиля;  $S_y^a, S_y^b$  – тормозной путь при торможении с установившимся замедлением соответственно с начальной скорости  $V_{0a}$  и  $V_{0b}$

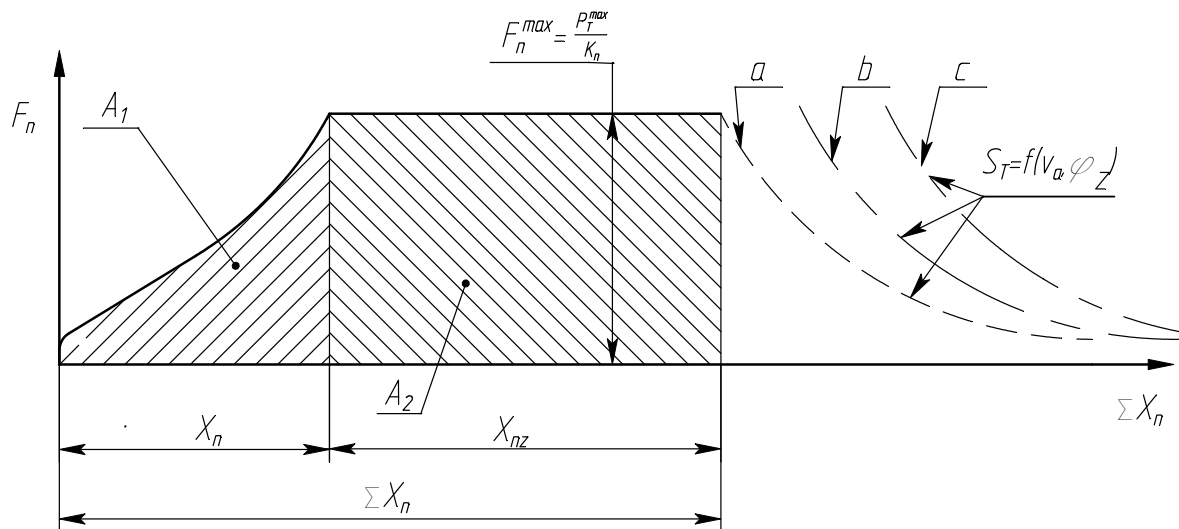


Рис. 4. Зависимость  $F_n = f(X_n)$

учитывается начальная нечувствительность тормозной системы, поэтому целесообразно выполнить оценку затрат энергии водителя непосредственно по работе, затраченной на перемещение тормозной педали и её удержание в процессе торможения.

Работу, совершаемую водителем в процессе торможения автомобиля, можно записать в виде суммы

$$A_{F_n} = A_1 + A_2, \tag{6}$$

где  $A_1 = \int_0^{X_n} F_n dX_n$  – работа, затраченная на

приведение в действие тормозной системы при перемещении педали  $X_n$ ;  $A_2 = F_n X_{nz}$  – работа, затраченная на удержание педали при торможении автомобиля с коэффициентом торможения  $z$ .

Работа  $A_2$  отражает затраты энергии водителя при неподвижной педали тормоза. С точки зрения механики, при отсутствии перемещения ноги, работа равна нулю. Однако мышцы ноги удерживают педаль тормоза с усилием  $F_n$ . Такая работа называется статической работой мышц. Однако фактически статическая работа мышц является динамической, поскольку при удержании педали неподвижной мышцы ноги постоянно сокращаются и расслабляются. Из-за малой амплитуды колебаний и большой частоты сокращений колебания педали не заметны [7], но за время торможения она совершит некоторое эквивалентное перемещение

$$X_{nz} = \delta_x \nu \tau_z, \quad (7)$$

где  $X_{nz}$  – эквивалентное перемещение педали за время установившего торможения с коэффициентом торможения  $z$ ;  $\delta_x$  – амплитуда колебания педали при сокращении и расслаблении мышцы ноги;  $\nu$  – частота колебаний педали (равная частоте сокращения мышцы);  $\tau_z$  – время торможения с усилием  $F_n$ , соответствующее коэффициенту торможения  $z$ .

С учетом выражения (7) работа, совершаемая водителем на удерживание педали при торможении с коэффициентом торможения  $z$ , может быть определена как

$$A_2 = F_n \delta_x \nu \tau_z. \quad (7)$$

Как видно из рис. 4, работа, затраченная на удержание педали, для данного коэффициента торможения определяется скоростью в начале торможения  $V_0$ .

### Выводы

Таким образом, предложенная методика позволяет оценить физические энергозатраты водителя на тормозное управление автомобилем в течение всего процесса торможения, с учетом как динамического режима управления, так и статического. В динамическом режиме тормозного управления энергозатраты водителя определяют эргономические показатели – усилие управления  $F_n$  и перемещение педали  $X_n$ . В статическом режиме

тормозного управления (удержание нажатой педали) энергозатраты определяются усилием на педали  $F_n$  и начальной скоростью торможения  $V_0$ .

### Литература

1. Бухарин Н. А. Тормозные системы автомобилей / Н. А. Бухарин. – М.-Л. : Машгиз, 1950. – 292 с.
2. Подригало М. А. Оценка эффективности тормозных механизмов по работе, затраченной на их включение / М. А. Подригало, В. А. Щербань // Автомобильный транспорт. – К. : Техника, 1992. – Вып. 29. – С. 88–93.
3. Волков В. П. Оценка эффективности тормозного привода по затратам энергии / В. П. Волков, М. А. Подригало // Вестн. Харьков. гос. автомобильно-дорожн. техн. ун-та. – 1995. – Вып. 1. – С.23–26.
4. Подригало М. А. Оценка энергопреобразующих свойств тормозных систем колесных машин / М. А. Подригало, В. П. Волков, А. Н. Миленин // Механізація сільськогосподарського виробництва. Вісн. Харків. держ. техн. ун-та сільск. госп. – 2000. – Вып. 1. – С. 31–38.
5. Гуревич Л. В. Тормозное управление автомобиля / Л. В. Гуревич, Р. А. Меламуд. – М. : Транспорт, 1978. – 152 с.
6. Литвинов А. С., Фаробин Я. Е. Автомобиль : Теория эксплуатационных свойств : учебник для вузов по специальности «Автомобили и автомобильное хозяйство» / А. С. Литвинов, Я. Е. Фаробин. – М. : Машиностроение, 1989. – 240 с.
7. Ремизов А. Н. Курс физики, электроники и кибернетики для медицинских институтов : учебник / А. Н. Ремизов. – М. : Высш. школа, 1982. – 607 с.
8. M. Jahn. Größen und Wirkungen an der hydraulischen Betätigungsanlage für Kraftfahrzeugbremsen / M. Jahn // Kraftfahrzeugtechnik. – 1980. – № 5. – P. 136–139.

Рецензент: В. П. Волков, профессор, д.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 24 марта 2010 г.