

DOI: <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2019-6-70-3>

УДК 629.1.07

**Князь В.І., Маланчук В.В., Москалюк А.В., Олійник О.В., Славін В.В.**Чернівецький науково-дослідний експертно-криміналістичний центр  
Міністерства внутрішніх справ України**ВПЛИВ СПОСОБУ ГАЛЬМУВАННЯ НА ГАЛЬМІВНУ ДИНАМІКУ АВТОМОБІЛЯ**

**Анотація.** Одним із режимів руху автомобілів в місті є сповільнення, яке з поміж інших режимів руху становить близько 35%. Сповільнення може відбуватися різними способами. В роботі розглядається службове сповільнення автомобіля робочою гальмівною системою та двигуном разом з гальмами. Аналітично встановлено, що значення сповільнення автомобіля, коли водій привів у дію робочу гальмівну систему, що рухається на прямій передачі в режимі примусового холостого ходу, відрізняється від того, яке отримане при тих же умовах, коли гальмування відбувається лише гальмами. У роботі авторами розраховані порівняльні значення шляху, часу, сповільнення при використанні гальм та двигуна разом з гальмами.

**Ключові слова:** сповільнення, способи гальмування, автомобіль, гальмування двигуном, гальмівна динаміка.

**Kniaz Volodymyr, Malanchuk Vadym, Oliynyk Olexander,****Moskaliuk Anatoly, Slavin Viktor**Chernivtsi Research Forensic Centre  
Ministry of Internal Affairs of Ukraine**THE EFFECT OF BRAKING ON THE BRAKING DYNAMICS OF THE AUTUMOBILE**

**Summary.** One of the modes of movement of automobile in the city is a slowdown, which, among other driving modes, is about 35 percent. Slowing down can occur in different ways. This work considers the service deceleration of a automobile with a working brake system and engine together with brakes. It is analytically established that the value of the automobile deceleration when the driver activated the service braking system, moves in direct transmission in the mode of forced idling, differs from that obtained under the same conditions when braking occurs only with brakes. Vehicle deceleration can be performed in several ways: the braking system; brake system and engine; engine; periodic exposure, action, brake system. In the paper the authors calculated comparative value way, time, deceleration using engine brakes and, together with the brakes. Analytical studies have shown that during service braking with the engine turned on, the braking dynamics of a automobile are better than when braking only with brakes, namely: – the effectiveness of the deceleration of a automobile engine ( $\dot{v}$ ) with brakes in direct transmission to range speeds from 60 to 40 km / h will increase on average by 4.5%; – time of braking of the car is less in case of braking by the engine and brakes simultaneously; – the braking distance of the automobile by the engine and the simultaneous use of the brakes in the direct gear is less; – the braking efficiency of the automobile engine is higher than the lower gear. The expediency of settlement slowdown should be carried out if there is a need to determine the value of the maximum deceleration of a particular automobile. For example, when it is necessary to find the average deceleration of the automobile, the braking time engine when to the point where its velocity drops to a predetermined speed.

**Keywords:** deceleration, braking methods, automobile, engine braking, brake dynamics.

**Постановка проблеми.** Гальмування автомобіля можна виконувати декількома способами: гальмівною системою; гальмівною системою і двигуном; двигуном; періодичним впливом, дією, гальмівної системи.

Відомо, що вид способу гальмування впливає на гальмівну динаміку автомобіля. В умовах експлуатації зазначені способи гальмування зазвичай використовуються при звичайному гальмуванні (службовому), де основна частина тепла виділяється в гальмівних механізмах (наприклад, між фрикційними накладками і барабанами), при повному (екстремому) гальмуванні, тобто коли колеса блокуються, доведені до юзу, коли тепло утворюється між шинами і дорожнім покриттям.

При дослідженні дорожньо-транспортних пригод щодо визначення зупиночного, гальмівного шляху та часу автомобіля як правило при автотехнічних дослідженнях користуються загальноприйнятою методикою, за якою автомобіль при екстремому та/або службовому гальмуванні, використовує гальмову систему автомобіля [1].

Однак, рух автомобілів в міських умовах характеризується циклічною зміною режимів. Зна-

чу частину цих режимів понад – 35% займає сповільнення автомобіля з увімкненим двигуном і положення педалі акселератора, за якого настає режим примусового холостого ходу. В цьому режимі дросельна заслінка знаходиться в положенні, яке відповідає мінімальній частоті обертання холостого ходу, а вал двигуна обертається з частотою, що перевищує мінімальну. При цьому трансмісія автомобіля передає енергію від коліс двигуна, який поглинаючи її виконує функцію – гальма.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.**

Аналітичне рішення даного питання розглядається в роботах [1; 2; 3; 5], проте в них відсутні порівняльні приклади розрахунку сповільнення легкового автомобіля при службовому гальмуванні різними способами.

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми.** Таким чином, вирішальний вплив на гальмівний шлях і час повної зупинки складають максимальне значення сповільнення, яке для методу гальмування авто-

мобіля з увімкненою трансмісією буде більшим ніж гальмування гальмовою системою [1–6].

**Мега статті.** Головною метою даної роботи є визначення сповільнення легкового автомобіля, а також порівняльні значення часу, відстані при службовому гальмуванні гальмами та двигуном разом з гальмами.

**Виклад основного матеріалу.** Для прикладу розглянемо як впливає гальмування автомобіля гальмами, двигуном, гальмування двигуном і гальмами разом при русі на прямій передачі в діапазоні швидкостей на його уповільнення, шлях і час повної зупинки. В розрахунках використовуємо легковий задньопривідний автомобіль, категорії М1, колісною формулою 4×2.

Згідно методики експериментального дослідження параметрів гальмування, які дають можливість визначити конкретні значення параметрів по емпіричним регресійним залежностям і співставити їх з результатами експериментально-розрахункового методу, використовуючи закони динаміки гальмування і конструктивні константи автомобільних транспортних засобів, створені принципи інтерпретації отриманих результатів для експертної практики, за якими побудовані табличні залежності параметрів гальмування для кожної моделі, в різних вагових станах, і диференційовані по коефіцієнту зчеплення –  $\varphi$  [1].

Згідно методики [1] для легкових автомобілів, категорії М1, без навантаження, для розрахунку гальмівної динаміки автомобіля обираємо значення:

- коефіцієнт зчеплення коліс з дорожнім покриттям  $\varphi = 0,8$ ;
- сповільнення при гальмуванні  $j = 7,5 \text{ м/с}^2$  ( $6,9 \text{ м/с}^2$ );
- час наростання сповільнення  $t_3 = 0,25 \text{ с}$ ;
- маса автомобіля  $G = 995 \text{ кг}$ .

Обрані параметри для розрахунку гальмівної динаміки автомобіля є постійним для автомобілів даної категорії. Вони необхідні для визначення гальмівної динаміки автомобіля використаним гальм.

При гальмуванні двигуном гальмівний момент створює двигун. Так як перед впливом на педаль гальм водій відпускає акселератор то кількість обертів колінчастого вала двигуна повинні були б зменшитися до обертів холостого ходу. Проте насправді ведучі колеса через трансмісію примусово повертають колінчастий вал із кутовою швидкістю, яка відповідає швидкості автомобіля. В результаті з'являється сила опору руху (сила тертя двигуна), пропорційна силі тертя в двигуні що викликає сповільнення автомобіля. Інколи при високих швидкостях руху автомобіля значна протидія інерційних мас рухомих деталей двигуна (маховика) є більшою гальмівної дії двигуна, що призводить до меншого сповільнення

Величина сповільнення при гальмуванні автомобіля двигуном визначається [5]:

$$j_d = \frac{g}{\delta} \left[ \frac{M_T \times i_0 \times i_k}{G \times r_k \times \eta_T} + f \cos \alpha \pm \sin \alpha + \frac{KF (V_0 \pm V_B)^2}{3,6^2 \times G} \right] \text{ м/с}^2 \quad (1)$$

де  $g$  – 9,81 прискорення вільного падіння,  $\text{м/с}^2$ ;  
 $\delta$  – коефіцієнт врахування впливу інерції обертючих мас автомобіля,  $\delta = 1,03$ ;

$M_T$  – гальмівний момент двигуна,  $\text{н} \cdot \text{м}$ ;

$i_k$  – передаточне число увімкненої передачі,  
 $i_{k4} = 1,0$ ;

$i_0$  – передаточне число головної передачі,  
 $i_0 = 4,3$ ;

$G$  – маса автомобіля,  $G = 995 \text{ кг}$ ;

$r_k$  – радіус кочення колеса автомобіля,  $r_k = 0,277 \text{ м}$ ;

$\eta_T$  – коефіцієнт ККД трансмісії,  $\eta_T = 0,82$ ;

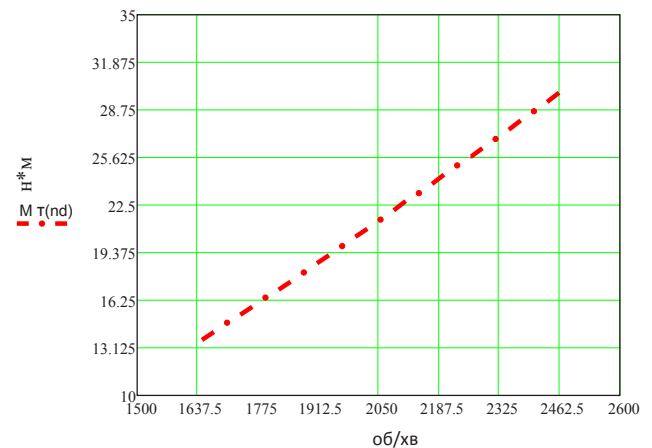
$f$  – коефіцієнт опору кочення,  $f = 0,014$ ;

$\alpha$  – кут повздовжнього нахилу дороги, град.;

$KF$  – коефіцієнт обтичності автомобіля,  
 $KF = 0,26 \text{ н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^2$ .

Як видно із рівняння (1), для визначення ефективності гальмування автомобіля двигуном при різних швидкостях руху необхідно експериментально визначити гальмівну характеристику двигуна ( $M_T, \text{н} \cdot \text{м}$ ).

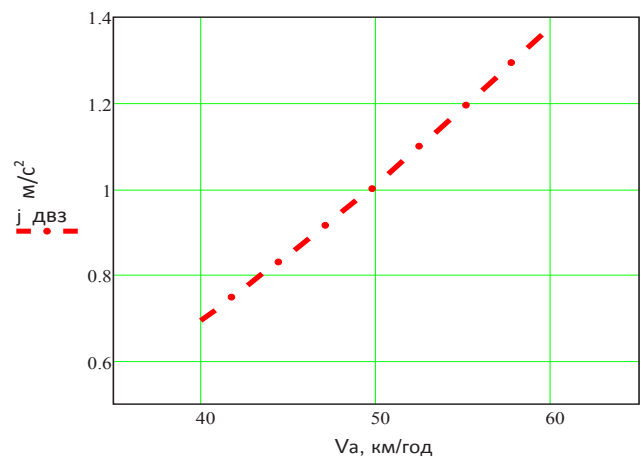
На рис. 1 показана гальмівна характеристика бензинового двигуна робочим об'ємом 1,2 л на прямій передачі.



**Рис. 1.** Гальмівна характеристика бензинового двигуна робочим об'ємом 1,2 л на прямій передачі

Як видно з рис. 1, гальмівний момент двигуна автомобіля при русі на прямій передачі зростає із збільшення частоти обертання колінчастого вала.

За рівнянням 1 розраховано сповільнення ( $j$ ,  $\text{м/с}^2$ ) легкового автомобіля з увімкненим двигуном на прямій передачі в діапазоні швидкостей від 60 до 40  $\text{км/год}$  (рис. 2).



**Рис. 2.** Сповільнення двигуна легкового автомобіля в діапазоні швидкостей від 60 до 40  $\text{км/год}$  на прямій передачі

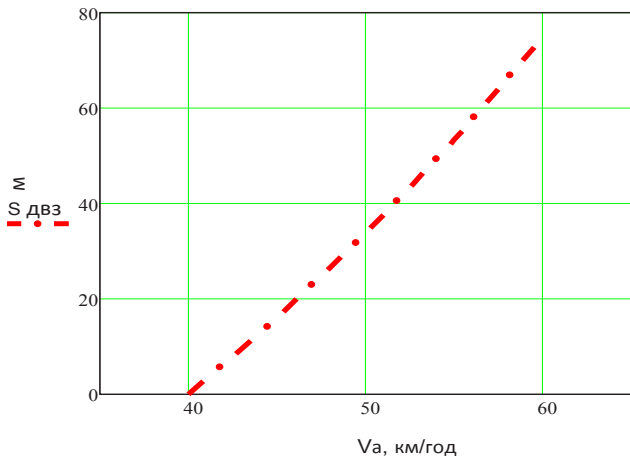


Рис. 3. Шлях сповільнення автомобіля двигуном в діапазоні швидкостей від 60 до 40 км/год на прямій передачі

Як видно з рис. 2 значення сповільнення легкового автомобіля в діапазоні швидкостей від 60 до 40 км/год на прямій передачі наближається до нижньої межі службового способу гальмування ( $j_{служб.} = 1,5-2,5 \text{ м/с}^2$ ) [3].

Так як при гальмуванні двигуном автомобіля на проїзній частині відсутні сліди гальмування то для визначення швидкості руху автомобіля на початку, або в кінці гальмування двигуном, необхідно задати йому величину швидкості руху автомобіля за допомогою двигуна. Крім того, величина відстані і час при уповільненні автомобіля двигуном можна знайти за величиною швидкості як на початку так і в кінці гальмування двигуном.

На рис. 3 і 4 представлено визначенні залежності шляху ( $S_{двз}$ ) та часу гальмування автомобіля із увімкненим двигуном в діапазоні швидкостей від 60 до 40 км/год.

Величина шляху уповільнення автомобіля двигуном визначається [5]:

$$S_{\theta} = \frac{V_1^2 - V_2^2}{26 \times j_{двз}}, \text{ м} \quad (2)$$

де  $V_1$  – швидкість руху автомобіля на початку гальмування, км/год;

$V_2$  – швидкість руху автомобіля в кінці гальмування, км/год;

$j_{двз}$  – середня величина уповільнення за період гальмування двигуном автомобіля,  $\text{м/с}^2$ .

З рис. 3 видно, що легковий автомобіль подолає дистанцію рівною 70 м в режимі примусового холостого ходу від 60 до 40 км/год.

Величину часу сповільнення автомобіля двигуном ( $T_{двз}$ ) визначають:

$$T_{\theta} = \frac{V_1 - V_2}{3,6 \times j_{двз}}, \text{ с} \quad (3)$$

Як видно з рис. 4 час сповільнення легкового автомобіля при русі в режимі примусового холостого ходу від 60 до 40 км/год становить 5,5 с.

Для визначення впливу способу гальмування автомобіля на зупинний, гальмівний шлях, час його повної зупинки визначаємо максимальне сповільнення автомобіля при гальмуванні гальмами на всіх колесах за наступною формулою:

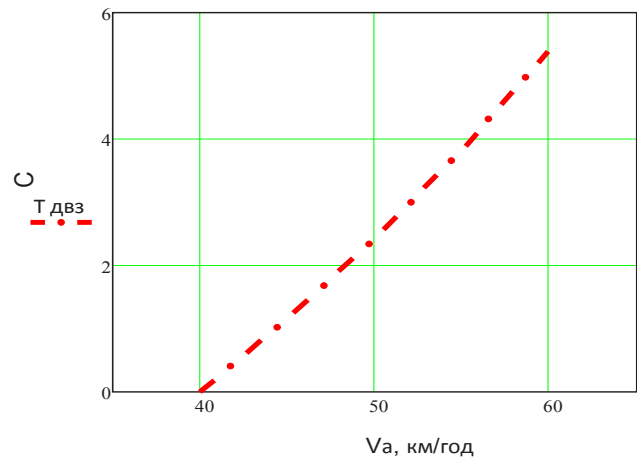


Рис. 4. Час сповільнення автомобіля двигуном в діапазоні швидкостей від 60 до 40 км/год на прямій передачі

$$j_m = \left[ \frac{\varphi \cos \alpha}{K_3} + f \cos \alpha + f r_k \cos \alpha \pm \sin \alpha + \frac{KF(V_0 \pm V_B)^2}{13 \times G} \right] \frac{g}{\delta} \text{ м/с}^2 \quad (4)$$

де  $\varphi$  – коефіцієнт зчеплення шин автомобіля з поверхнею проїзної частини, покритою сухим асфальтом,  $\varphi = 0,7-0,8$ ;

$K_3$  – коефіцієнт експлуатаційних умов гальмування,  $K_3 = 1,2$ .

При максимальному сповільненні при русі автомобіля із заблокованими колесами коефіцієнти набувають значення:  $f = 0, \delta = 0$ . Знак «+» перед  $\sin \alpha$  показує, що автомобіль при гальмуванні рухається на підйом і це збільшує сповільнення, знак «-» використовують при русі на спуск.

Отже, розраховані за рівняннями 1 і 4 значення сповільнення автомобіля двигуном ( $j_{двз}$ ) і гальмування гальмами ( $j_m$ ) видно на рис. 5.

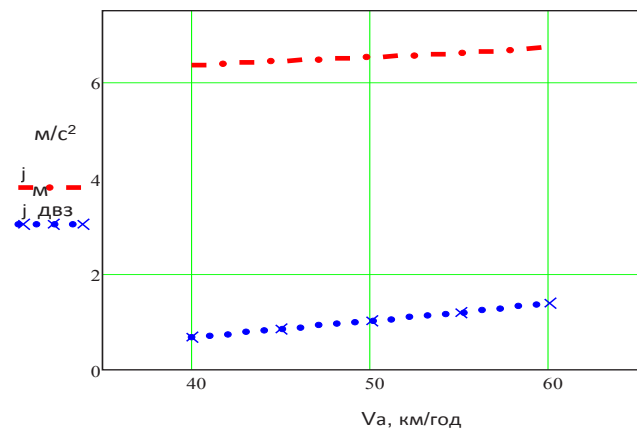


Рис. 5. Сповільнення легкового автомобіля гальмами ( $j_m$ ) без двигуна і двигуном ( $j_{двз}$ ) на прямій передачі в діапазоні швидкостей

Як видно (рис. 5) сповільнення автомобіля лише гальмами ( $j_m$ ) має більшу ефективність. Для розрахунків, визначимо середні значення для сповільнення гальмами –  $j_m = 6,54 \text{ м/с}^2$  і для двигуна –  $j_{двз} = 1,024 \text{ м/с}^2$  в діапазоні швидкостей від 60 до 40 км/год.

Як було зазначено вище гальмування автомобіля з увімкненою трансмісією і використанням гальм в діапазоні швидкостей від 60 до 40 км/год розраховується за залежністю:

$$j_{\text{сум}} := \frac{g_{\text{пр}}}{\sigma} \left( \frac{M_{\text{т}} \cdot (n_d) \cdot U_4 \cdot U_{\text{р}}}{9.81 \cdot G_a \cdot r_d \cdot \eta_{\text{т}}} + f + \frac{\varphi}{K_{\text{э}}} + \frac{k_f \cdot V_0^2}{13G_a} \right) = \begin{pmatrix} 6.553 \\ 6.707 \\ 6.872 \\ 7.05 \\ 7.238 \end{pmatrix} \text{ м/с}^2 \quad (5)$$

На рис. 6, значення сповільнення автомобіля з увімкненою трансмісією  $j_{\text{сум}}$  та гальмування гальмами  $j_{\text{м}}$ .

Як видно ефективність сповільнення автомобіля двигуном ( $j_{\text{сум}}$ ) з гальмами на прямій передачі в діапазонні швидкостей від 60 до 40 км/год в середньому зростає на 4,5%. Значення сповільнення при одночасному гальмуванні двигуном і гальмами автомобіля при швидкості 60 км/год складає  $j_{\text{сум}} = 7,24 \text{ м/с}^2$ , що на 6,8% ефективніше ніж гальмування лише гальмівною системою. При цьому за довідковими даними [4] метод екстреного гальмування знаходиться в межах 7,5-8,0  $\text{м/с}^2$ , що свідчить про достовірність розрахунків.

Доцільність розрахунків сповільнення необхідно проводити, якщо виникає необхідність визначити значення максимального сповільнення конкретного автомобіля. Наприклад, коли необхідно визначити середнє сповільнення, шлях і час гальмування автомобіля двигуном на пря-

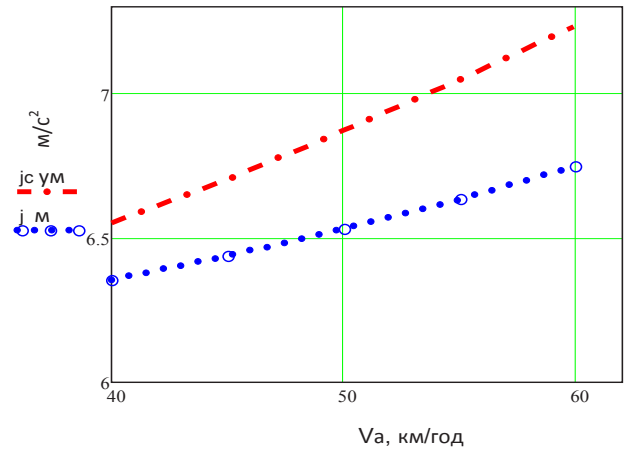
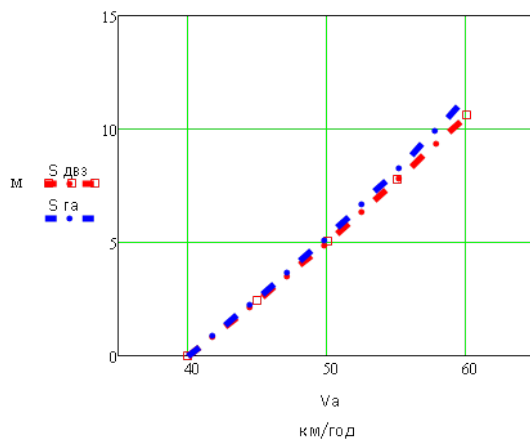


Рис. 6. Сповільнення легкового автомобіля гальмами ( $j_{\text{м}}$ ) та двигуном ( $j_{\text{сум}}$ ) з гальмами на прямій передачі в діапазонні швидкостей від 60 до 40 км/год

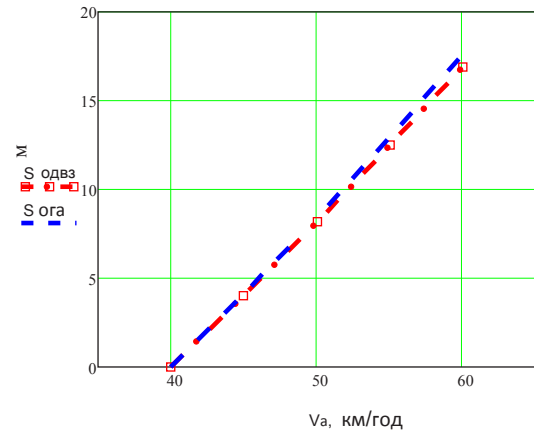
мій передачі до того моменту, коли швидкість його руху знизиться до заданої швидкості тощо.

Вплив способу гальмування на шлях та тривалість гальмування автомобіля видно на рис. 7-8.

З рис. 7 видно, що шлях гальмування автомобіля двигуном і одночасному використанні гальм

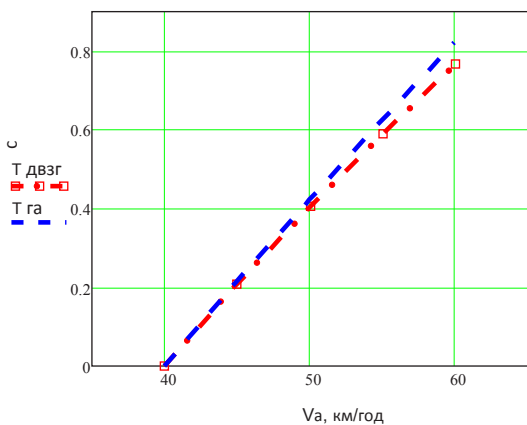


а

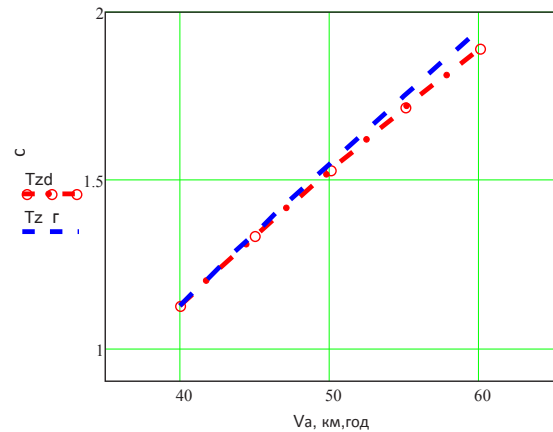


б

Рис. 7. Величина шляху гальмування автомобіля двигуном з гальмами і ( $S_{\text{двз}}$ ,  $S_{\text{одвз}}$ ) окремо гальмами ( $S_{\text{га}}$ ,  $S_{\text{ога}}$ ), а – гальмівний шлях; б – зупиночний шлях



а



б

Рис. 8. Величина часу гальмування автомобіля двигуном з гальмами ( $T_{\text{двзг}}$ ,  $T_{\text{зд}}$ ) і окремо гальмами ( $T_{\text{га}}$ ,  $T_{\text{г}}$ ): а – час гальмування; б – зупинний час

в діапазонні швидкостей від 60 до 40 км/год на прямій передачі менший.

Як видно з рис. 8, час гальмування автомобіля в діапазонні швидкостей від 60 до 40 км/год буде менший у випадку гальмування двигуном і гальмами одночасно.

На дорогах із малим коефіцієнтом зчеплення одночасне гальмування підвищує поперечну стійкість автомобіля по умовам заносу. Стійкість зростає внаслідок більш рівномірного розподілення диференціалом гальмівних сил між ведучими колесам автомобіля [5–6].

Ефективність гальмування двигуном тим вище чим нижче передача [6], рис. 9. Сповільнення автомобіля з двигуном відбувалося для різних передач в залежності від швидкостей руху.

З рис. 9 видно, що ефективність гальмування двигуна легкового автомобіля вище нижчій передачі.

Але якщо при одній і тій же швидкості руху вмикаєти нижчу передачу, то відбудеться критичне збільшення частоти обертання колінчастого вала двигуна. Щоб це не допустити необхідно гальмувати двигуном на тій передачі, яка відповідає швидкості.

**Висновки.** Таким чином, проведені аналітичні дослідження показали, що при службовому гальмуванні з увімкненим двигуном гальмівна динаміка автомобіля краща ніж при гальмуванні лише гальмами, а саме:

### Список літератури:

1. Беляева Л.Д., Сахарова Е.А., Козлова Л.Н. Экспертная практика и новые методы исследования. *Информационный сборник*. Москва, 1990. Выпуск № 3. С. 70–73.
2. Ерохов В.И. Экономичная эксплуатация автомобиля. Москва : ДОСААФ, 1986. 128 с.
3. Иларионов В.А., Морин М.М., Сергеев Н.М. Теория и конструкция автомобиля. Москва : «Машиностроение», 1979. 303 с.
4. Иларионов В.А., Морин М.М. Теория автомобиля и автомобильного двигателя. Москва : «Машиностроение», 1968. 283 с.
5. Бекасов В.А., Боград Г.Я., Зотов Б.Л., Индиченко Г.Г. *Автотехническая экспертиза*. Москва : «Юридическая литература», 1969. 256 с.
6. Боровский Б.Е. Безопасность движения автомобильного транспорта. Анализ дорожных происшествий. Ленинград : Лениздат, 1984. 304 с.

### References:

1. Belyaeva L.D., Sakharova E.A., Kozlova L.N. (1990). Ekspertnaya praktika i novye metody issledovaniya [Expert practice and new research methods]. *Informatsionnyy sbornik*. Moscow. No. 3, pp. 70–73.
2. Erokhov V.I. (1986). Ekonomichnaya ekspluatatsiya avtomobilya [Economical automobile operation]. Moscow : DOSAAF.
3. Ilarionov V.A., Morin M.M., Sergeev N.M. (1979). Teoriya i konstruktsiya avtomobilya [Theory and design of the automobile]. Moscow : «Mashinostroenie».
4. Morin V.A., Ilarionov M.M. (1968). Teoriya avtomobilya i avtomobil'nogo dvigatelya [The theory of the automobile and engine]. Moscow : «Mashinostroenie».
5. Bekasov V.A., Bograd G.Ya., Zotov B.L., Indichenko G.G. (1969). *Avtotekhnicheskaya ekspertiza* [Autotechnical Examination]. Moscow : «Yuridicheskaya literatura».
6. Borovskiy B.E. (1984). Bezopasnost' dvizheniya avtomobil'nogo transporta. Analiz dorozhnykh proisshestviy [Traffic safety of road transport. Analysis of traffic accidents]. Lenizdat.

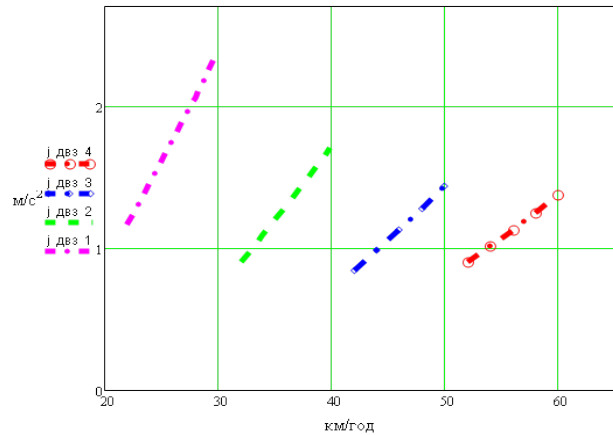


Рис. 9. Сповільнення при гальмуванні автомобіля з двигуном

– ефективність сповільнення автомобіля двигуном ( $j_{\text{сум}}$ ) з гальмами на прямій передачі в діапазонні швидкостей від 60 до 40 км/год в середньому зростає на 4,5%;

– час гальмування автомобіля менший у випадку гальмування двигуном і гальмами одночасно;

– шлях гальмування автомобіля двигуном і одночасному використанні гальм на прямій передачі менший;

– ефективність гальмування двигуна легкового автомобіля вище нижчій передачі.