

## Лекція 5. Гальмові властивості автомобіля

### 1. Основні визначення і терміни

Гальмування – процес створення і зміни штучного опору руху автомобіля з метою зменшення його швидкості, зупинки або утримання нерухомим відносно опорної поверхні.

Гальмові властивості - це сукупність властивостей, які визначають максимальне сповільнення руху автомобіля під час його руху на різних дорогах в гальмівному режимі, граничні значення зовнішніх сил, під дією яких загальмований автомобіль надійно утримується на місці або має необхідні мінімальні сталі швидкості під час руху на схилі.

Гальмовий режим – режим при якому до всіх або кількох коліс автомобіля підводиться гальмівні моменти.

Гальмові властивості відносяться до найважливіших експлуатаційних параметрів автомобіля, котрі визначають активну безпеку автомобіля і спрямовані на зменшення вірогідності ДТП, тому вони регламентовані рядом міжнародних документів, в тому числі правилами № 13 Європейської Економічної Комісії ООН. На основі цих правил повинні встановлюватися національні стандарти.

Оціночними показниками ефективності робочої та запасної гальмівної системи є *стале сповільнення* –  $j_{ст}$ , яке відповідає руху автомобіля при постійному зусиллі на гальмівній педалі в умовах, передбачених стандартом, і *мінімальний гальмівний шлях* –  $S_{т}$ , відстань, котру проходить автомобіль з моменту натискання на педаль до зупинки.

Для автопоїздів додатково оціночний показник – *час спрацювання* –  $\tau_{спр}$  – час з моменту натискання на гальмівну педаль до досягнення  $j_{ст}$ .

При стендових випробуваннях оціночними показниками є сумарна гальмівна сила  $\Sigma P_{т}$ , і час спрацювання  $\tau_{спр}$  або спільна питома гальмівна сила  $\delta = \frac{\Sigma P_{т}}{G_a}$ , час спрацювання і коефіцієнт осьової нерівності гальмівних сил  $k_H$ .

$$k_H = \frac{P_{тл} - P_{тп}}{P_{тл} + P_{тп}} \quad (3.1)$$

де:  $P_{тл}$  – сумарна гальмівна сила коліс лівого борту автомобіля;

$P_{тп}$  – сумарна гальмівна сила коліс правого борту автомобіля.

Оціночний показник стоянкової гальмівної системи є сила  $\Sigma P_{тс}$ , допоміжної гальмівної системи – стала швидкість під час руху під ухил (нормована  $v_{гд}$ ).

## 2. Сили що діють на автомобіль при гальмуванні

Гальмівними силами, які зберігають сповільнення автомобіля, є гальмівні сили  $P_{\tau_1}$  і  $P_{\tau_2}$ , які діють в площині контакту коліс з дорогою та спрямовані протилежному напрямку руху автомобіля. При достатньому зчепленю сили  $P_{\tau_1}$  і  $P_{\tau_2}$  визначаються гальмівними моментами гальмівних механізмів коліс:

$$P_{\tau_i} = \frac{M_{\tau_i}}{r_d} \quad (3.2)$$

При цьому їх максимальні значення обмежено умовами зчеплення коліс з полотном дороги:

$$P_{\tau_i} = \varphi \cdot R_{z_i} \quad (3.3)$$

Крім гальмівних сил при гальмуванні автомобіля на нього діють сили: опору кочення  $P_{f_1}$ ; опору підйому  $P_h$ ; опору повітря  $P_w$  (рис.3.1):

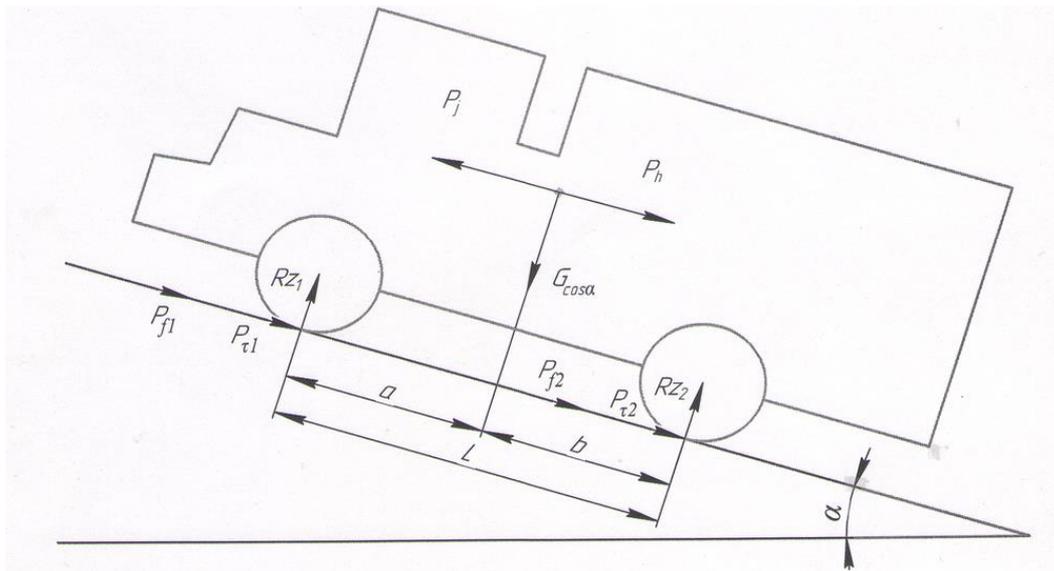


Рис.3.1. Схема сил, що діють на автомобіль при гальмуванні в загальному випадку руху

Сума проєкцій всіх сил на площину, паралельну опроній поверхні дорівнює сили інерції автомобіля:

$$\delta_\tau \cdot M_a \cdot j_\Gamma = P_{\tau_1} + P_{\tau_2} + P_{f_1} + P_{f_2} + P_h + P_w \quad (3.4)$$

де  $\delta_\tau$  – коефіцієнт, котрий враховує інерцію оберткових мас автомобіля при гальмуванні,  $\delta_\tau = 1,03 \dots 1,05$ .

Позначимо

$$P_{\tau_1} + P_{\tau_2} = P_{\tau} = \gamma_{\tau} \cdot M_a \cdot g = \gamma_{\tau} \cdot G_a \quad (3.5)$$

де:  $\gamma_{\tau}$  – питома гальмівна сила

$$\gamma_{\tau} + \frac{k_w \cdot F \cdot U_a^2}{G_a} = D_{\tau} \quad (3.6)$$

де:  $D_{\tau}$  – гальмівний фактор.

Підставивши значення (6) в рівняння (3) отримуємо:

$$j_{\tau} = \frac{g}{\delta_{\tau}} (D_{\tau} + \psi) \quad (3.7)$$

Гальмівна сила досягає максимального значення при певному значенні проковзуванні в зоні контакту колеса з дорогою. При однакових значеннях коефіцієнта проковзування всіх коліс можливо запобігти їх блокуванню і повністю реалізувати силу тяжіння.

Для забезпечення однакового ковзання всіх необхідно щоб питомі гальмівні сили  $\gamma_{\tau_i}$  на всіх колесах були однакові.

$$\gamma_{\tau_i} = \frac{P_{\tau_i}}{P_{Z_i}} \quad (3.8)$$

Тобто, необхідно, щоб гальмівні сили розподілялися пропорційно навантаженням на вісь, або нормальним реакціям опорої поверхні  $R_Z$ .

Враховуючи схему сил, які діють на автомобіль під час гальмування на горизонтальній поверхні:

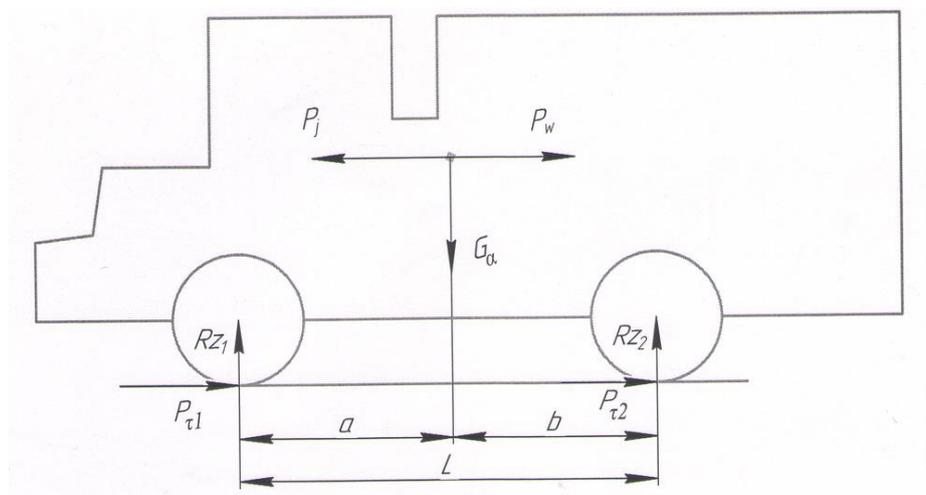


Рис. 3.2. Схема сил, що діють на автлобмобіль при гальмуванні на горизонтальній ділянці дороги

$$R_{z_1} = \frac{1}{L}(G_a \cdot b + P_j \cdot h_g) = \frac{G_a}{L}(b + \gamma_\tau \cdot h_g) \quad (3.9)$$

$$R_{z_2} = \frac{1}{L}(G_a \cdot a + P_j \cdot h_g) = \frac{G_a}{L}(a + \gamma_\tau \cdot h_g) \quad (3.10)$$

При гальмуванні з максимальною інтенсивністю і повному використанні колесами зчіпних сил:

$$P_\tau = \varphi \cdot R_{z_1} + \varphi \cdot R_{z_2} = \varphi \cdot G_a \quad (3.11)$$

тобто, при повному використанні зачепних властивостей питома гальмівна сила автомобіля дорівнює коефіцієнту зачеплення:

$$\gamma_\tau = \varphi \quad (3.12)$$

При цьому досягається максимально можливе сповільнення автомобіля і гальмовий фактор дорівнює:

$$D_\tau = \varphi_{\max} + \frac{K_w \cdot F \cdot v_a^2}{G_a} \quad (3.13)$$

$$j_{\max} = \frac{g}{\delta_\tau} \left( \varphi_{\max} + \frac{K_w \cdot F \cdot v_a^2}{G_a} + \psi \right) \quad (3.14)$$

якщо ж не враховувати опорів повітря і коченню, то сповільнення дорівнює:

$$j_{\max} = g(\varphi_{\max} \cdot \cos \alpha \pm \sin \alpha) = (\varphi_{\max} \pm i)g \quad (3.15)$$

### 3. Сповільнення автомобіля та шлях гальмування

Якщо на початку гальмування швидкість автомобіля  $v_{a_0}$ , то через час  $t$  вона дорівнюватиме:

$$v_a = v_{a_0} - j_{\text{сп}} \cdot t \quad (3.16)$$

де  $j_{\text{сп}}$  – сповільнення автомобіля при гальмуванні

В диференціальному вигляді рівняння:

$$\frac{dS_a}{dt} = v_{a_0} - j_{\text{сп}} \cdot t \quad (3.17)$$

$$\text{звідки: } dS = (v_{a_0} - j_{\text{сп}} \cdot t) \cdot dt \quad (3.18)$$

Після інтегрування визначимо, що

$$S_{ог} = v_{a_0} \cdot t - \frac{j_{сп} \cdot t^2}{2} + c \quad (3.19)$$

але при  $t = 0$ ,  $S_{ог} = 0$  і  $c = 0$ , тобто

$$S_{ог} = v_{a_0} \cdot t - \frac{j_{сп} \cdot t^2}{2} \quad (3.20)$$

Час гальмування:

$$t = \frac{v_{a_0} \cdot v_a}{j_{сп}} \quad (3.21)$$

з урахуванням цього шлях гальмування:

$$S_{ог} = \frac{v_{a_0}^2 - v_a^2}{2j_{сп}} = \frac{v_{a_0}^2 - v_a^2}{2g(\varphi_{\max} \pm i)} \quad (3.22)$$

$$S_{ог} = \frac{v_{a_0}^2 - v_a^2}{2j_{сп}} = \frac{v_{a_0}^2 - v_a^2}{2g(\varphi_{\max} \pm i)} \quad (3.22)$$

Отриманні значення  $S_{ог}$  і  $j_{сп}$  не враховують впливу конструктивних параметрів гальмівної системи зокрема і транспортного засобу в цілому, тому з метою наближення результатів розрахунку до експериментальних даних, в формули визначення  $S_{ог}$  і  $j_{сп}$  потрібно ввести коефіцієнт ефективності гальмування  $k_c$ , тобто:

$$S_{г} = k_c \frac{v_{a_0}^2 - v_a^2}{2j_{сп}} \quad (3.23)$$

$$j_{сп} = \frac{Q_{\max} \pm j}{k_c} g \quad (3.24)$$

де:  $k_c = 1,2$  – для легкових автомобілів }  
 $k_c = 1,3 \dots 1,4$  – для вантажних автомобілів } при  $\varphi \geq 0$   
 $k_c = 1,0$  – для всіх автомобілів при  $\varphi < 0,4$

Шлях зупинення автомобіля – шлях, який проходить автотранспортний засобів від моменту виявлення водієм небезпеки до повної зупинки:

$$S_3 = v_0 \left( \tau_p + \tau_{зпр} + 0,5\tau_{зр} \right) + \frac{v_{a_0}^2}{2j_{сп}} \quad (3.25)$$

де:  $\tau_p$  – час реакції водія;

$\tau_{зпр}$  – час спрацювання гальмівного приводу;

$\tau_{зр}$  – час зростання гальмівного зусилля;

В розрахунках  $S_3$  приймаються:

$$\tau_p = 0,8\text{с};$$

$$\tau_{зпр} = 0,2\text{с} \text{ – для гідравлічного приводу};$$

$$\tau_{зпр} = 0,6\text{с} \text{ – для пневматичного приводу};$$

$$\tau_{зр} = 0,5\text{с}.$$

Графічна залежність  $P_\tau = f(t_a)$  і  $u_{a0}^2 = f(t)$  мають вигляд:

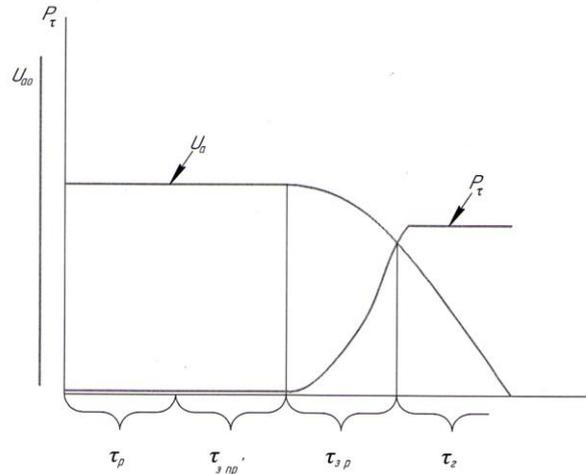


Рис.3.3. Графіки зміни гальмівної сили і швидкості руху автомобіля від часу гальмування.

Для забезпечення максимальних сповільнень автомобіля при гальмуванні, особливо на слизьких дорогах, з одночасним збереженням стійкості руху і керованості, величина гальмівних моментів на колесах кожної осі повинні бути пропорційними осьовим навантаженням на дорогу.

При незмінному співвідношенні гальмівних моментів на колесах передньої та задньої осі  $M_{\tau 1}$  та  $M_{\tau 2}$ , тобто  $\frac{M_{\tau 1}}{M_{\tau 2}} = C_\tau = const$  максимальна ефективність гальмування може бути досягнута тільки при одному значенні коефіцієнта зчеплення  $\varphi_0$ , що дорівнює:

$$\varphi_0 = \frac{aC_\tau - b}{h_g(1 + C_\tau)} \quad (3.26)$$

При  $\varphi > \varphi_0$  в цьому випадку – ковзання задніх коліс;  $\varphi < \varphi_0$  – ковзання передніх коліс.

#### 4. Регулятори гальмівних сил

Для запобігання переходу коліс на «юз», тобто зменшення вірогідності блокування коліс при гальмуванні, на автомобілях встановлюють регулятори гальмівних сил. Вони поділяються на дві групи:

- регулятори без зворотнього зв'язку (змінюють співвідношення гальмівних сил в залежності від інтенсивності гальмування і навантаженості автомобіля;
- регулятори із зворотнім зв'язком (режим їх роботи залежить від характеру кочення коліс, в них на початку блокування спеціальні автоматичні пристрої зменшують гальмівний момент так, щоб його середнє значення підтримувалося приблизно на рівні максимально можливого з умов зчеплення при певному навантаженні на колеса осі).

Характеристикою регулятора є співвідношення гальмівних сил передніх і задніх коліс  $P_1 = f(P_2)$  (рис. 3.4):

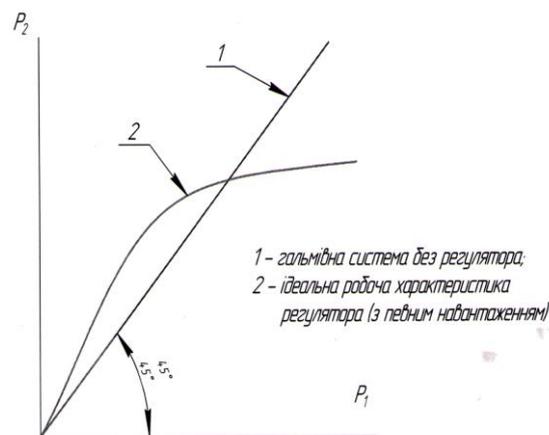


Рис.3.4. Співвідношення гальмівних сил передніх і задніх коліс  $P_1 = f(P_2)$

Ідеальної характеристики (крива 2 на рис.3.4) конструкції перших регуляторів не забезпечували, тому спочатку використовувались регулятори, що змінювали тиск в гальмівних контурах передніх і задніх коліс залежно від навантаження на осі:

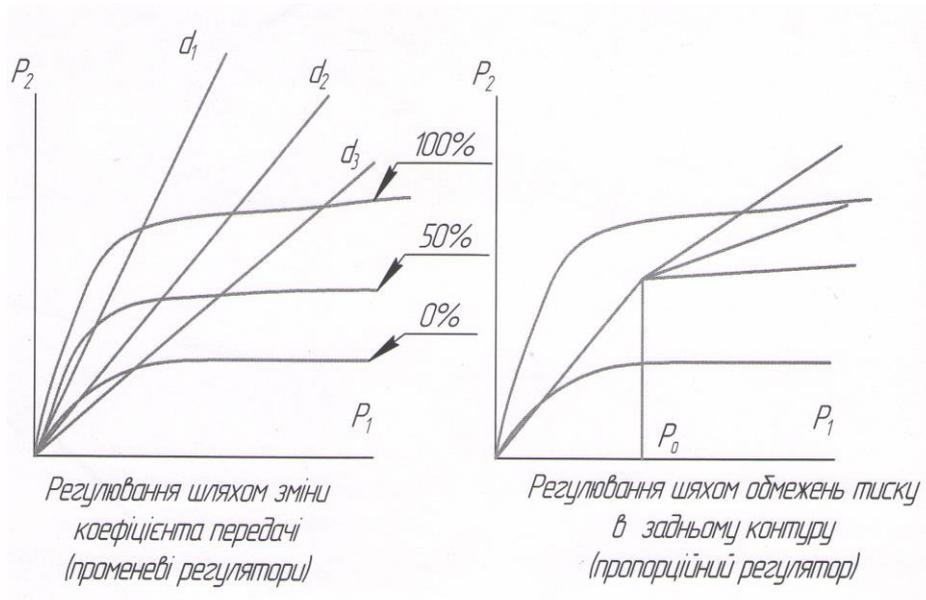


Рис.3.5. Характеристики регуляторів гальмівних сил з постійною точкою спрацювання

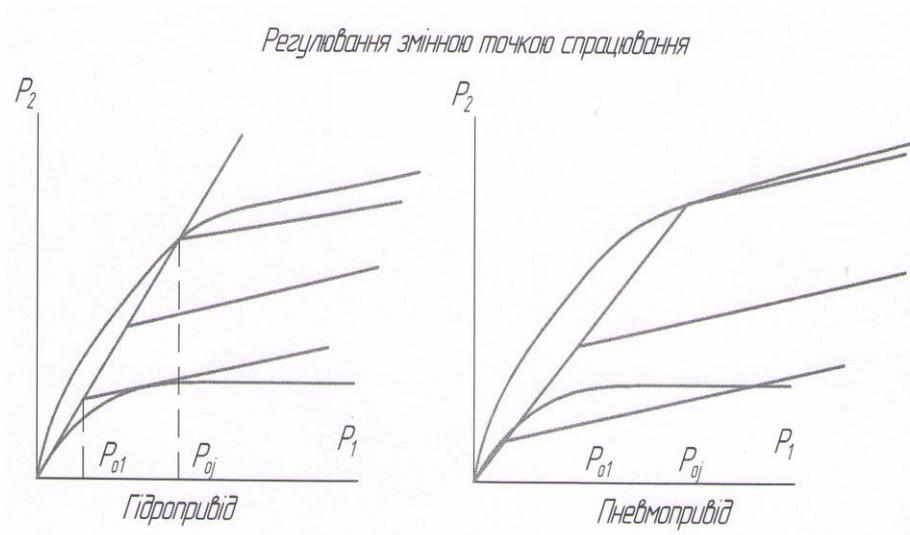


Рис.3.6. Характеристики регуляторів гальмівних сил зі змінною точкою спрацювання

Наявність регуляторів поліпшує гальмівні властивості автомобіля, проте не виключає можливості виникнення «юзу».

Регулювання зі зворотнім зв'язком, або протиблокувальні (антиблокувальні) системи (ПБС) призначенні для автоматичного регулювання гальмівних сил і забезпечення ефективного гальмування в будь-яких умовах без заносу.

При русі транспортного засобу пляма контакту його коліс знаходиться в нерухомому стані щодо дорожнього покриття, тобто на колесо діє сила тертя спокою. Оскільки ця сила більша, ніж сила тертя ковзання, уповільнення при

обертанні коліс зі швидкістю, що відповідає швидкості руху транспортного засобу, буде ефективніше, ніж уповільнення при проковзуванні коліс щодо дорожнього покриття. Крім того, транспортний засіб, одне або кілька коліс якого знаходяться в ковзанні, втрачає керування. Грубо кажучи, система запобігає блокуванню коліс і запобігає юзу при гальмуванні, що позитивно позначається на стійкості і керованості транспортного засобу в режимі гальмування.

АБС складається з наступних основних компонентів:

- датчики швидкості або прискорення (уповільнення), встановлені на маточинах коліс транспортного засобу;
- керуючі клапани, які є елементами модулятора тиску, встановлені в магістралі основної гальмівної системи;
- блок керування.

Блок керування отримує сигнал від датчиків і керує роботою клапанів. Після початку гальмування АБС починає постійне і досить точне визначення швидкості обертання кожного колеса. У разі, якщо одне, декілька або навіть всі колеса почнуть сповільнювати швидкість свого обертання швидше розрахункової максимальної швидкості уповільнення автомобіля (розраховується конкретно для кожної моделі на стадії розробки і коректується при випробуванні на покритті з максимальним коефіцієнтом тертя) і враховуючи свідчення акселерометрів, то система віддає команду модулятору тиску в гальмівній магістралі, який обмежує гальмівне зусилля на цих колесах. Потім, як тільки обертання колеса стане відповідати реальній швидкості руху (відновиться сила тертя спокою), гальмівне зусилля відновлюється.

Цей процес повторюється кілька разів (або декілька десятків разів) за секунду (у 2008 році середня АБС спрацьовувала 20 разів за секунду). Як правило, робота системи призводить до помітної пульсації гальмівної педалі і зазвичай саме за цією ознакою водій може визначити момент спрацьовування АБС.

Гальмівне зусилля може обмежуватися як у всій гальмівній системі одночасно (одноканальна АБС), так і в гальмівній системі борту (двоканальна АБС) або навіть окремого колеса (багатоканальна АБС). Одноканальні системи забезпечують досить ефективне уповільнення, але тільки в тому випадку, якщо умови зчеплення всіх коліс більш-менш однакові. Багатоканальні системи дорожчі і складніші одноканальних, але мають більшу ефективність при гальмуванні на неоднорідних покриттях, якщо, наприклад, при гальмуванні одне або декілька коліс потрапили на лід, вологу ділянку дороги або узбіччя.

У сучасні АБС входить система самодіагностування, яка контролює роботу всіх компонентів системи за їх фізичними параметрами. Система самодіагностування в разі некоректної роботи системи АБС запалює лампу несправності АБС на приладовій панелі і записує відповідний код несправності в пам'ять блоку управління. Після визначення несправності даний компонент відключається від роботи системи, або вся система перестає працювати, а гальмівна система продовжує працювати.

У сучасних автомобілях поступово набувають поширення електричні гальмівні механізми, що діють незалежно на кожному колесі. У цьому випадку АБС існує, в основному, як один з алгоритмів керуючого блоку такої гальмівної системи і не робить ніякого впливу на педаль або рукоятку гальма.

Наявність АБС дозволяє досягти більш короткого гальмівного шляху, ніж за її відсутності. Крім того, АБС дозволяє водієві зберігати контроль над транспортним засобом під час екстреного гальмування, тобто зберігається можливість здійснення досить різких маневрів безпосередньо в процесі гальмування. Поєднання двох цих факторів надає АБС суттєвих переваг у забезпеченні активної безпеки транспортних засобів.

Досвідчений водій може ефективно гальмувати і без використання АБС, контролюючи момент зриву коліс самостійно (найбільш часто такий прийом гальмування використовується мотоциклістами) і послаблюючи зусилля гальмування на межі блокування (гальмування при цьому виходить переривчастим). Ефективність такого гальмування може бути порівнянна з гальмуванням при використанні одноканальної АБС. Багатоканальні системи в будь-якому випадку мають перевагу в тому, що вони можуть контролювати гальмівне зусилля на кожному окремому колесі, що дає не тільки ефективне уповільнення, але і стабільність поведінки транспортного засобу в складних умовах нерівномірного зчеплення коліс з поверхнею дороги.

Для недосвідченого водія наявність АБС краще в будь-якому випадку, оскільки дозволяє екстрено гальмувати інтуїтивно зрозумілим способом, просто прикладаючи максимальне зусилля до гальмівної педалі або рукоятки і зберігаючи при цьому можливість маневру.

У деяких умовах робота АБС може привести до збільшення гальмівного шляху. Наприклад, при використанні автомобільних шин з недостатнім зчепленням з дорогою (наприклад, при їзді взимку на літніх шинах). Також на пухких поверхнях, таких, як глибокий сніг, пісок або гравій, заблоковані при гальмуванні колеса починають зариватися в поверхню, що дає додаткове уповільнення. Незаблоковані колеса гальмують в цих умовах істотно повільніше. Для того, щоб можна було ефективно гальмувати в таких умовах, АБС на деяких моделях автомобілів роблять контролюючою. Крім того, деякі типи АБС мають спеціальний алгоритм гальмування для пухкої поверхні, що призводить до численних короточасних блокувань коліс. Така техніка гальмування дозволяє досягти ефективного уповільнення без втрати керованості, як при повному блокуванні.

Розглянемо принципову схему і принцип дії однієї із конструкцій АБС:

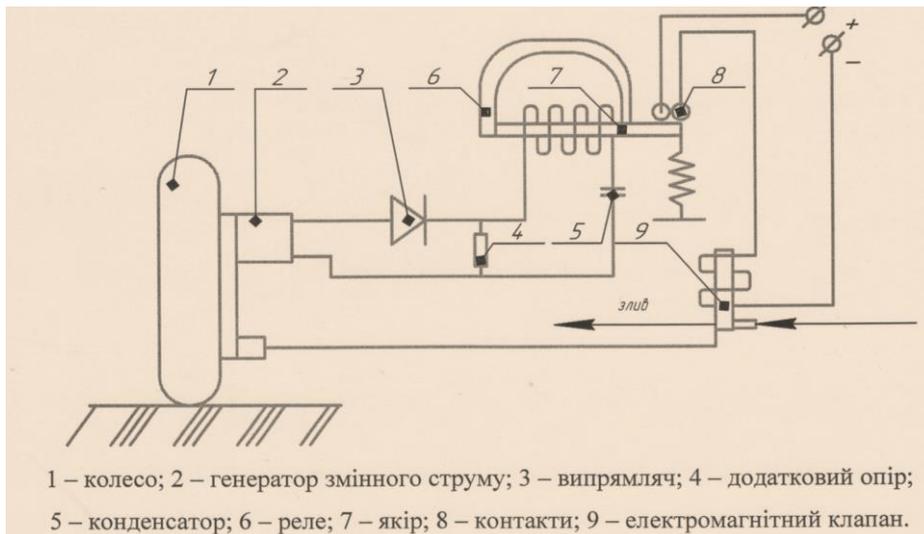


Рис.3.7. Принципова схема антиблокувальної системи автомобіля

### Порядок роботи ПБС

Якір генератора змінного струму 2 обертається разом з колесом 1. Струм через випрямляч 3 і котушки реле 6 заряджає конденсатор 5 до напруги генератора 2. При наявності юзу і пов'язаного з цим зниження кутової швидкості якоря генератора напруга в ньому падає. Внаслідок цього конденсатор 5 розряджається через котушку реле 6 і додатковий опір 4, реле 6 спрацьовує і якір 7 замикає контакти 8. При цьому електромагнітний клапан отримує сигнал розгальмування колеса, знижуючи тиск в його робочому циліндрі.

Використання ПБС дозволяє зменшити гальмівний шлях на 20...30% при збереженні стійкості і керованості автомобіля.

### 5. Конструктивні та експлуатаційні фактори, що впливають на гальмові властивості автомобіля.

Експлуатаційні фактори, що справляють вплив на гальмівні властивості автомобіля, умовно можна поділити на технічні (пов'язані з технічними несправностями гальмівної системи) і дорожні. Робота гальмівних механізмів супроводжується зношенням поверхонь фрикційних накладок і гальмівних барабанів (дисків), що призводить до утворення збільшеного проміжку. За результатами експериментальних досліджень збільшення середнього проміжку в усіх гальмівних механізмів на 0,5 мм (автомобіль повною масою 12 т із повітряним приводом гальм) збільшує довжину гальмівного шляху приблизно на 15-20%. На автомобілях з гідравлічним приводом зміни проміжку в гальмівних механізмах з 0,25 до 0,5 м викликає зміну часу спрацьовування гальмівного привода з 0,16-0,25 с до 0,4-0,45 с, а шлях гальмування збільшується на 25%. Гальмівні властивості погіршуються також через потрапляння на поверхні тертя гальмівних механізмів води чи бруду. Аналіз статистичних даних показує, що із загальної кількості ДТП, викликаних технічними причинами, близько 20% відбувається через несправність гальмівної системи. Можливість реалізувати

гальмівні сили, що розвиваються гальмівними механізмами автомобіля, залежить від стану покриття доріг і протектора шин. Мінімальна висота протектора шин автомобілів регламентована правилами дорожнього руху. Нове дорожнє покриття має шорсткувату поверхню, мікроскопічні виступи якої, вдавлюючись у шину, збільшують їхнє зчеплення з дорогою. При зношенні покриття мікронерівності згладжуються, поверхня покриття втрачає шорсткість і коефіцієнт зчеплення зменшується. Для збільшення коефіцієнта зчеплення  $\phi$  застосовують поверхневу обробку покриття, що полягає в розливі на дорозі в'язкого матеріалу (наприклад, рідкого бітуму), розсипанні по ньому дрібного щебеню і наступному його укоченню котками. Покриття з такою обробкою в сухому стані практично відповідає асфальтобетонному, а в мокрому стані безпечніше, оскільки рівень коефіцієнта зчеплення у нього знижується менше, ніж на гладких покриттях без обробки. При русі автомобілів по дорозі з низькими значеннями  $\phi$  зникає розходження в гальмівних властивостях автомобілів різних типів, характерне при гальмуванні на сухих покриттях.