

УДК 629.3.027.533.6
© 2012

А.М. Божок,
кандидат
технічних наук

Подільський державний
аграрно-технічний
університет

АВТОМАТИЧНА СИГНАЛІЗАЦІЯ АВАРІЙНОГО ТИСКУ В ШИНАХ КОЛІС МОБІЛЬНО- ЕНЕРГЕТИЧНОГО ЗАСОБУ

Наведено принципову схему та описано роботу системи автоматичної сигналізації аварійного тиску в шинах коліс мобільно-енергетичного засобу, а також результати її дослідження.

Проблема. У процесі експлуатації мобільно-енергетичних засобів (МЕЗ) значна кількість дорожньо-транспортних пригод (ДТП) зумовлена втратою їхньої стійкості та керованості. При цьому особливу небезпеку створює з різних причин зниження тиску повітря в шинах коліс або взагалі його зникнення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для запобігання аваріям і зменшення їх тяжкості треба мати поточну інформацію про стан тиску в шинах коліс. Однак у сучасних МЕЗ немає штатних пристроїв для отримання такої інформації.

Мета досліджень — розробити принципову схему системи автоматичної сигналізації (САС) запобіжного та аварійного тиску в шинах коліс МЕЗ, виконати її теоретичні дослідження.

Результати досліджень. Функціонально САС загорянням сигнальної лампочки на щитку приладів сповіщає водія про появу в шині колеса запобіжної мінімально допустимої величини тиску, за якої подальша експлуатація МЕЗ небезпечна. САС з такими функціональними можливостями було розроблено на кафедрі «Трактори, автомобілі та енергетичні засоби» Подільського державного аграрно-технічного університету (патент України № 45215). Її конструкцію подано на рис. 1.

Від пошкодження шини 3 тиск повітря знижуватиметься, і за досягнення мінімально допустимої величини пружина 28, діючи на фланець 27, через вилку 24 і шток 20 перемістить ролик 19 праворуч до взаємодії через мембрану 6 з рухомих контактом 12. Останній, долаючи опір пружини-фіксатора 11 і пружини 14, переміститься праворуч до замикання з нерухомим контактом 15 і ввімкнення сигнальної лампи 9, яка загориться, сигналізуючи водієві про появу в шині 3 аварійного тиску. За переміщення контакт 12 попаде лівою лункою під кульку 13, якою зафіксується в положенні постійного ввімкнення і горіння сигнальної лампи 9. У вихідне положення контакт 12 повертається регулювальним гвинтом 16, при цьому кулька фіксатора 13 попадає у його праву лунку.

САС складається з лінійної та нелінійної

частин. Лінійну частину утворюють об'єкт контролю за відхиленням від заданого значення тиску в шині і датчик тиску, а нелінійну — релейні ланки: підпружинений фіксатор і світловий показчик [3, 4]. Роботоздатність САС залежить від стійкості її лінійної частини до дії на шину колеса збурювальних поштовхів та ударів з боку рельєфу і перешкод на дорозі й оцінюється за характером перехідних процесів. Вхідною координатою лінійної частини є величина тиску стисненого в шині повітря, спричиненого зовнішнім збуренням, а вихідною — переміщення штока датчика.

Для дослідження перехідних процесів лінійної частини САС необхідні передатні функції її динамічних ланок. Якщо вважати, що процес змінювання стану повітря є ізотермічним за умови, що об'ємна його витрата через отвір у камері пропорційна перепаду тисків, то приблизно процес змінювання тиску повітря в шині колеса може бути описаний рівнянням:

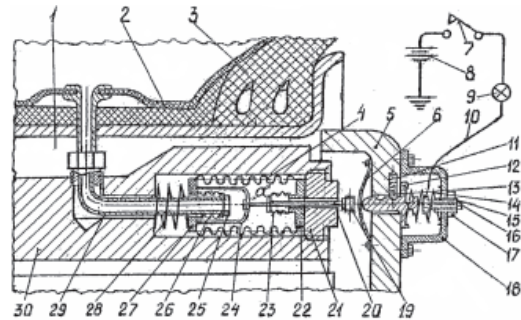


Рис. 1. Принципова схема САС аварійного тиску в шинах коліс МЕЗ: 1 — колесо; 2 — камера; 3 — шина; 4, 23, 26 — сильфони; 5 — диск гальмівний; 6 — мембрана; 7 — перемикач; 8 — джерело електричного струму; 9 — лампа сигнальна; 10 — провідник; 11, 14, 28 — пружини; 12 — контакт рухомий; 13 — кулька; 15 — контакт нерухомий; 16 — гвинт регулювальний; 17, 21 — гайки; 18 — кришка; 19 — ролик; 20 — шток; 22, 25, 27 — фланці; 24 — вилка; 29 — трубка; 30 — барабан гальмівний

$$Vdp_{\text{ш}} = RT\gamma(P_{\text{вих}} - P_{\text{ш}})dt, \quad (1)$$

де V — об'єм камери, м^3 ; $p_{\text{ш}}$ — тиск стисненого повітря в шині колеса, кг/м^2 ; R — питома газова стала повітря, $\text{кгм/кг}^{\circ}\text{К}$; T — абсолютна температура повітря, $^{\circ}\text{К}$; γ — коефіцієнт пропорційності залежить від площі отвору в шині, м^2 ; $p_{\text{вих}}$ — тиск повітря на виході з шини — виділна координата, кг/м^2 .

Рівняння (1) може бути подано у вигляді: [4]

$$T_{\text{ш}} \frac{dp_{\text{ш}}}{dt} + p_{\text{ш}} = p_{\text{вих}}, \quad (2)$$

де $T_{\text{ш}} = \frac{V}{RT\gamma}$ — постійна часу шини колеса, с.

Передатна функція шини колеса як динамічної ланки з коефіцієнтом підсилення, що дорівнює одиниці, з рівняння (2) буде:

$$W_{\text{ш}}(p) = \frac{1}{T_{\text{ш}}p + 1}, \quad (3)$$

де $p = \frac{d}{dt}$ — оператор у перетвореннях Лапласа.

Із виразів (2, 3) видно, що шина колеса за своїми динамічними властивостями є аперіодичною інерційною ланкою першого порядку, перехідні процеси якої не можуть набувати коливального характеру [4].

Датчик тиску як друга динамічна ланка лінійної частини САС у динамічній рівновазі перебуває під дією сил інерції рухомих мас, в'язкого тертя і докладених до його штока зусиль пружин: власної, фіксатора, рухомого контакту, а також жорсткості матеріалу стінок сильфонів і мембрани. З урахуванням цих зусиль і виконаних спрощень рівновага сил матиме вигляд:

$$M \frac{d^2 \Delta X_{\text{вих}}}{dt^2} + v \frac{d \Delta X_{\text{вих}}}{dt} + (C_{\text{п}} + C_{\text{с}} + C_{\text{м}}) \Delta X_{\text{вих}} = S_{\text{ф}} \cdot \Delta p_{\text{вих}}. \quad (4)$$

Тут M — маса рухомих деталей, пов'язаних з датчиком, $\text{кг}\cdot\text{с}^2/\text{м}$; v — приведений коефіцієнт в'язкого тертя, $\text{кг}\cdot\text{с}/\text{м}$; $C_{\text{п}} = (C_{\text{д}} + C_{\text{ф}} + C_{\text{к}})$ — приведена жорсткість пружин і відповідно жорсткість пружин датчика, фіксатора та рухомого контакту, $\text{кг}/\text{м}$; $C_{\text{с}} = (C_{\text{з}} + C_{\text{1в}} + C_{\text{2в}})$ — вплине на жорсткість матеріалу стінок сильфонів і відповідно на жорсткість матеріалу зовнішнього і двох внутрішніх сильфонів датчика, $\text{кг}/\text{м}$; $C_{\text{м}}$ — жорсткість матеріалу мембрани, $\text{кг}/\text{м}$; $S_{\text{ф}}$ — ефективна площа штока датчика, м^2 ; $\Delta p_{\text{вих}}$ — змінювання тиску на вході датчика, кг/м^2 .

Здійснивши перехід до безрозмірних координат, з урахуванням відношення пониження $\Delta P_{\text{вх}}$ до мінімальної величини $P_{\text{мін}}$ у шині, при якому рухомий фланець зовнішнього сильфона переміститься на максимальну величину, а для

штока — відношення $\Delta X_{\text{вих}}$ до повного його ходу $X_{\text{макс}}$, і нескладних перетворень, рівняння (4) набуде вигляду:

$$\frac{M}{C_{\text{п}} + C_{\text{с}} + C_{\text{м}}} \frac{d^2 X_{\text{вих}}}{dt^2} + \frac{v}{C_{\text{п}} + C_{\text{с}} + C_{\text{м}}} \frac{d X_{\text{вих}}}{dt} + X_{\text{вих}} = p_{\text{вих}}. \quad (5)$$

Отже, з урахуванням прийнятих умов сильфонний датчик тиску в шині колеса за взаємодії штока через мембрану з фіксатором, рухомим контактом ще до замикання останнього з нерухомим являє собою в динамічному плані коливальну ланку з диференціальним рівнянням (5), яке може бути представлено у вигляді:

$$T_{\text{д}}^2 \frac{d^2 X_{\text{вих}}}{dt^2} + T_{\text{кд}} \frac{d X_{\text{вих}}}{dt} + X_{\text{вих}} = p_{\text{вих}}, \quad (6)$$

де $T_{\text{д}} = \sqrt{\frac{M}{C_{\text{п}} + C_{\text{с}} + C_{\text{м}}}}$ — постійна часу датчика

тиску, яка характеризує його інерційні властивості, с; $T_{\text{кд}} = \frac{v}{C_{\text{п}} + C_{\text{с}} + C_{\text{м}}}$ — постійна часу датчика тиску, яка характеризує його демпфувальні властивості, с.

Із (6) передатна функція ланки матиме вигляд:

$$W_{\text{д}}(p) = \frac{1}{T_{\text{д}}^2 p^2 + T_{\text{кд}} p + 1}. \quad (7)$$

Оскільки лінійна частина САС є розімкненою і являє собою послідовне з'єднання інерційної першого порядку $W_{\text{ш}}(p)$ та коливальної $W_{\text{д}}(p)$ динамічних ланок, для найбільш важкого вхідного одиночного стрибкоподібного сигналу через застосування прямого та оберненого перетворень Лапласа знаходимо вихідну координату:

$$h(t) = \frac{1}{T_{\text{ш}} T_{\text{д}}^2} \left\{ \frac{T_{\text{ш}} (1 - e^{-\frac{t}{T_{\text{ш}}}})}{\left(p_1 + \frac{1}{T_{\text{ш}}}\right) \left(p_2 + \frac{1}{T_{\text{ш}}}\right)} + \frac{e^{p_1 t} - 1}{p_1 \left(p_1 + \frac{1}{T_{\text{ш}}}\right) (p_1 - p_2)} + \frac{e^{p_2 t} - 1}{p_2 \left(p_2 + \frac{1}{T_{\text{ш}}}\right) (p_2 - p_1)} \right\}, \quad (8)$$

де корені p_1 і p_2 визначаються за формулами:

$$p_1 = \frac{-T_{кд} + \sqrt{T_{кд}^2 - 4T_{\delta}^2}}{2T_{кд}}; \quad p_2 = \frac{-T_{кд} - \sqrt{T_{кд}^2 - 4T_{\delta}^2}}{2T_{кд}}$$

Дослідження перехідних процесів САС виконувалися методом математичного моделювання виразу (8). При цьому постійна часу шини визначалася з урахуванням параметрів технічних характеристик серійних шин і фізичних властивостей стисненого в них повітря, а постійні часу датчика — параметрів технічних характеристик використаних комплектуючих сильфонів і пружин, а також діапазону змінювання вихідних сигналів.

Дослідження показали, що час, впродовж якого спрацьовує САС, залежить як від динамічних властивостей шини $T_{ш}$, так і від демпфувальних властивостей $T_{кд}$ датчика аварійного тиску. Так, зі збільшенням $T_{ш}$ при сталих значеннях $T_{кд}$ (в діапазоні $T_{кд} = 0,5 \dots 5$ с) пере-

хідний процес сповільнюється, стає затяжним, а зі зменшенням $T_{ш}$ — навпаки. При $T_{ш} = 0$ (розрив шини) перехідний процес відбуватиметься миттєво, а шина як інерційна ланка за динамічними властивостями перетвориться на безінерційну. Швидкодія САС зростає зі зменшенням $T_{кд}$, але це сприяє генеруванню незгасаючих коливань у перехідному процесі. За $T_{кд} = 0$ перехідний процес при всіх значеннях $T_{ш}$ має незгасаючий коливальний характер, який зі збільшенням $T_{ш}$ асимптотично змінюється за зменшення амплітуди коливань. Оскільки автоматичним фіксатором рухомого контакту є релейна ланка, то збільшення амплітуди початкового коливання не перешкоджає замиканню рухомого і нерухомого контактів, але для надійного аварійного їх замикання необхідно, щоб її величина забезпечувала разове спрацювання фіксатора при аварійному тиску в шинах коліс.

За отриманими результатами виконаних досліджень ведеться розробка дослідного зразка САС аварійного тиску в шинах коліс МЕЗ.

Висновки

Для запобігання ДТП і виведенню з ладу шин під час руху з пониженим в них тиском повітря МЕЗ мають бути оснащені штатними САС. На чутливість розробленого САС впливає $T_{ш}$, яка залежить від конструктивних особливостей і матеріалу шини, фізичних властивостей стисненого повітря, а також $T_{кд}$, що характеризує пневматичне демпфування датчика тиску. За постійних значень

$T_{ш}$ і збільшення $T_{кд}$ швидкодія САС зменшується і за $T_{кд} = 5$ с перехідний процес стає затяжним з часом стабілізації вихідної координати понад 20 с. У міру зменшення $T_{кд}$ швидкодія САС зростає, і з наближенням до нульового значення за всіх $T_{ш}$ вона втрачає стійкість, а вихідна координата переходить у незгасаючі синусоїдальні коливання, амплітуда яких зі збільшенням $T_{ш}$ зменшується.

Бібліографія

1. Боровский Б.Е. Безопасность движения автомобильного транспорта. — Л.: Лениздат, 1984. — 304 с.
2. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов/Под ред. Г. Гроше и В. Циглера. Пер. с нем. — М.: Наука, 1981. — 718 с.
3. Ибрагимов И.А., Фарзана Н.Г., Ильясов Л.В. Элементы и системы пневмоавтоматики: Учебник для вузов по спец. «Автоматизация и комплексная

- механизация хим.-технол. процессов». — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Высш. шк., 1985. — 544 с.
4. Иващенко Н.Н. Автоматическое регулирование. Теория и элементы систем. Учебник для вузов. Изд. 4-е, перераб. и доп. — М.: Машиностроение, 1978. — 736 с.
 5. Кожевников С.Н., Есипенко Я.И., Раскин Я.М. Механизмы. Справочник. Изд. 4-е, перераб. и доп./ Под ред. С.Н. Кожевникова. — М.: Машиностроение, 1976. — 784 с.