

– Снижение интенсивности поперечно-угловых колебаний корпуса ЛБКМ и, соответственно, разгрузку системы стабилизации и приводов управления вооружением можно обеспечить путем реализации управляемых или регулируемых характеристик подвески.

Мельник Б.О.

**ДО ПИТАННЯ ПРО ВПЛИВ ПОПЕРЕЧНО-КУТОВИХ КОЛИВАНЬ КОРПУСУ ЛЕГКОБРОНЬОВАНИХ КОЛІСНИХ МАШИН НА ТОЧНІСТЬ ПОСТРІЛУ**

В роботі запропоновано методика оцінки впливу поперечно-кутових коливань корпусу ЛБКМ на точність пострілу а також доведена необхідність урахування цих коливань при проведенні структурно-параметричного синтезу систем стабілізації озброєння ЛБКМ.

Мельник Б.А.

**К ВОПРОСУ О ВЛИЯНИИ ПОПЕРЕЧНО-УГЛОВЫХ КОЛЕБАНИЙ КОРПУСА ЛЕГКОБРОНИРОВАННЫХ КОЛЕСНЫХ МАШИН НА ТОЧНОСТЬ СТРЕЛЬБЫ**

В работе предложена методика оценки влияния поперечно-угловых колебаний корпуса ЛБКМ на точность выстрела и доказана необходимость учета этих колебаний при проведении структурно-параметрического синтеза систем стабилизации вооружения ЛБКМ.

Melnik B.A.

**TO THE QUESTION ABOUT INFLUENCE OF TRANSVERSAL-ANGULAR SWINGING OF BODY OF THE ARMORED WHEELED MACHINES ON EXACTNESS OF FIRING**

The method of estimation is in process offered influence of transversal-angular swinging of body of the armored wheeled machines on exactness of firing. The necessity of account of these swinging during the holding of structural-parametric synthesis of the armament stabilizing systems is proven.

---

УДК 629.113.001.2

*Плетнев В.Н.*

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ПАРЦИАЛЬНЫХ УСКОРЕНИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ ТОРМОЗНОГО УПРАВЛЕНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ**

**Введение.** Повышение надежности тормозного управления автомобилей и автопоездов оказывает существенное влияние на безопасность движения и надежность транспортного процесса. Под надежностью транспортного процесса понимается свойство автомобиля (автопоезда) или ряда машин выполнять транспортную работу в течение заданной наработки при установленной системе технического обслуживания, ремонта, организации и безопасности движения.

В настоящей статье с использованием булевой модели надежности и метода парциальных ускорений предложен метод оценки надежности тормозного управления автомобилей. Метод наиболее эффективен при оценке надежности тормозного управления многоосных автомобилей и автомобильных поездов.

**Анализ последних достижений и публикаций.** Под надежностью системы (технического изделия) понимают свойства удовлетворить цели применения при определенных условиях эксплуатации в течение определенного промежутка времени [1].

Использование аппарата булевой алгебры для построения модели надежности предлагают принять следующих условий [1]:

- система состоит из конечного числа элемента (подсистем, элементарных стандартных блоков);
- для каждого элемента допускается лишь два возможных состояния – полной работоспособности и полного отказа;
- всякая возможность частичного функционирования всей системы или ее элементов исключается.

Работоспособность или отказ системы определяются состоянием ее элементов. В предельном случае одновременного отказа или одновременного функционирования всех элементов система должна соответственно отказывать или работать [1]. Для указанных моделей предполагается выполнение свойства монотонности: если система функционирует, когда отказало некоторое подмножество  $M_1$  ее элементов (а дополнительное множество  $\bar{M}_1$ , элементов функционирует, то система должна функционировать также и в том случае, если отказало лишь подмножество  $M_2 \subset M_1$  элементов [1].

Состояние системы и каждого элемента можно описать с помощью булевых переменных, которые принимают значение 1 (в случае работоспособности) и 0 (в случае отказа) [1]. Если система состоит из элементов, при этом  $v$ -му элементу соответствует булева переменная  $x_v$ , возможными реализациями которой являются числа 1 или 0 [1].

$$x_v = \begin{cases} 1, & \text{если } v - \text{й элемент функционирует,} \\ 0, & \text{если } v - \text{й элемент отказывает} \end{cases}, \quad (1)$$

где  $v = 1, 2, \dots, n$ .

Состояние системы определяется структурной функцией работоспособности системы (булевой функцией) переменных  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , которая записывается в виде [1].

$$S(x_1, x_2, \dots, x_n) = \begin{cases} 1, & \text{если } v - \text{й элемент функционирует,} \\ 0, & \text{если } v - \text{й элемент отказывает} \end{cases}. \quad (2)$$

Поведение систем при функционировании или отказе всех ее элементов могут быть записаны в виде следующих соотношений

$$S(1, \dots, 1) = 1, \quad (3)$$

$$S(0, \dots, 0) = 0. \quad (4)$$

Автомобиль или автопоезд имеет несколько осей, на колесах каждой из которых установлены тормозные механизмы. На грузовых автомобилях и автопоездах применяется пневматический тормозной привод, при этом существует разделение контуров указанного привода, позволяющее при выходе из строя тормозов на одной или нескольких осях осуществлять торможение машины тормозами колес других осей. Допуская, что тормоза на одной из осей автомобиля или автопоезда могут находиться либо в работоспособном состоянии, либо в неработоспособном, возможно использование аппарата булевой алгебры для оценки надежности тормозного управления.

Для оценки технического состояния тормозного управления автомобилей используются тормозные стенды, на которых происходит измерение тормозных сил или моментов на колесах каждой из осей автомобиля (прицепа или полуприцепа). Однако такой способ диагностики требует применения дорогостоящего оборудования и не позволяет проводить оценку работоспособности тормозного управления в эксплуатационных условиях.

Решить указанную задачу позволяет метод парциальных ускорений [2]. Указанный метод в отличие от принципа Германа – Даламбера – Эйлера [3] построен на обратном переходе от векторной суммы в пространстве сил к векторной сумме в пространстве ускорений. Метод парциальных ускорений предполагает разложение суммарного ускорения мобильных машин в ряд (геометрическую сумму) парциальных ускорений. Каждое парциальное ускорение является результатом действия одной из внешних сил. Применительно к анализу тормозного управления этот метод следовало бы назвать методом парциальных замедлений. Для измерения замедлений автомобиля (автопоезда) возможно использовать бортовой измерительный комплекс, разработанный в ХНАДУ [2].

**Цель и постановка задач.** Целью исследования является повышение безопасности движения автомобилей и надежности движения автомобилей, а также надежности транспортного процесса за счет применения метода парциальных ускорений при диагностике технического состояния тормозного управления.

Для достижения указанной цели необходимо решить следующие задачи:

- определить уравнение парциальных ускорений (замедлений) процесса торможения автомобиля (автопоезда);
- разработать метод оценки надежности тормозного управления автомобилей и автопоездов на основе измерения замедления при торможении.

**Уравнение парциальных ускорений (замедлений) автомобильного поезда при торможении.** На автомобилях и автомобильных поездах, в соответствии с действующим законодательством [4], все колеса должны быть тормозными. Рассмотрим схему сил, действующих на автомобильный поезд при торможении (рис.1).

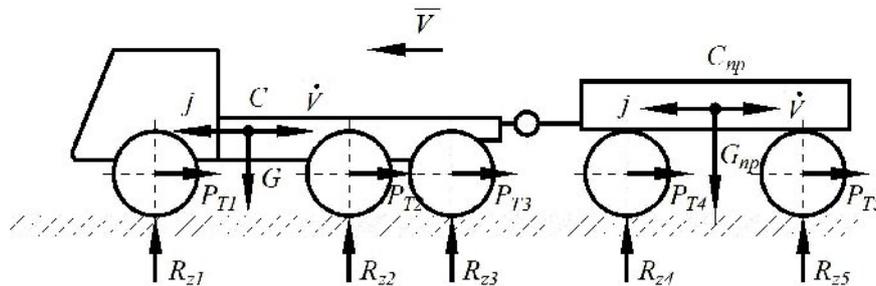


Рис. 1. Схема сил, действующих на автомобильный поезд при торможении

Уравнение динамики торможения автомобильного поезда

$$m_{an} \cdot \dot{V} = P_{T1} + P_{T2} + P_{T3} + P_{T4} + P_{T5} = \sum_{i=1}^n P_{Ti} = P_T, \quad (5)$$

где  $m_{an}$  – масса автомобильного поезда,

$$m_{an} = \frac{1}{g(G + G_{np})}, \quad (6)$$

$g$  – ускорение свободного падения  $g=9,81 \text{ м/с}^2$ ;  $G, G_{np}$  – сила тяжести автомобиля и прицепа, соответственно;  $P_{T1}, P_{T2}, P_{T3}, P_{T4}, P_{T5}$  – суммарные тормозные силы на осях;  $n$  – число тормозных осей автопоезда;  $P_T$  – общая тормозная сила автопоезда.

Для получения уравнения парциальных ускорений разделим левую и правую части уравнения (5) на массу  $m_{an}$  автомобильного поезда [2].

$$\dot{V} = \dot{V}_1 + \dot{V}_2 + \dot{V}_3 + \dot{V}_4 + \dot{V}_5 = \sum_{i=1}^n \dot{V}_i, \quad (7)$$

где  $\dot{V}_1; \dot{V}_2; \dot{V}_3; \dot{V}_4; \dot{V}_5$  – парциальные ускорения, создаваемые тормозными силами на осях,

$$\dot{V}_1 = \frac{P_{T1}}{m_{an}}, \quad (8)$$

$$\dot{V}_2 = \frac{P_{T2}}{m_{an}}, \quad (9)$$

$$\dot{V}_3 = \frac{P_{T3}}{m_{an}}, \quad (10)$$

$$\dot{V}_4 = \frac{P_{T4}}{m_{an}}, \quad (11)$$

$$\dot{V}_5 = \frac{P_{T5}}{m_{an}}, \quad (12)$$

$$\dot{V}_i = \frac{P_{Ti}}{m_{an}}. \quad (13)$$

Уравнения (5) и (7) в общем виде могут быть использованы для одиночных автомобилей и автопоездов с любым количеством тормозных осей. Поскольку тормозные силы являются силами сопротивления движению, то их направление противоположно направлению вектора скорости  $\bar{V}$ . Поэтому общее ускорение  $\bar{V}_i$ , создаваемые тормозными силами на осях, являются отрицательными величинами. Ускорения, возникающие при торможении, при анализе берутся по абсолютной величине, которая получила название замедления. Замедление  $j$  автомобильного поезда с  $n$ -ым количеством тормозных осей

$$j = \frac{1}{m_{an}} \sum_{i=1}^n |P_{Ti}| = \sum_{i=1}^n j_i^{\text{парц}}, \quad (14)$$

где  $j_i^{\text{парц}}$  – парциальное замедление, создаваемое тормозной силой на  $i$ -ой оси,

$$j_i^{\text{парц}} = \frac{|P_{Ti}|}{m_{an}}. \quad (15)$$

Уравнение (14) является уравнением парциальных замедлений автомобилей и автопоездов при торможении.

**Метод оценки надежности тормозного управления с помощью парциальных замедлений автомобильного поезда.** Надежность тормозного управления автомобилей и автопоездов оказывает существенное влияние на безопасность движения и надежность транспортного процесса.

При использовании аппарата булевой алгебры для построения модели надежности тормозного управления автомобилей и автопоездов будем считать, что тормоза  $i$ -ой оси могут находиться лишь в двух возможных состояниях – полной работоспособности и полного отказа; всякая возможность частичного функционирования тормозов исключается. Тормозное управление состоит из  $n$  элементов (блоков), каждый из которых представляет собой тормозную силу  $P_{Ti}$  (парциальное замедление  $j_i^{\text{парц}}$ ).

Графически подобную систему можно представить как систему с параллельным соединением  $i$ -ых элементов (рис. 2) [1].

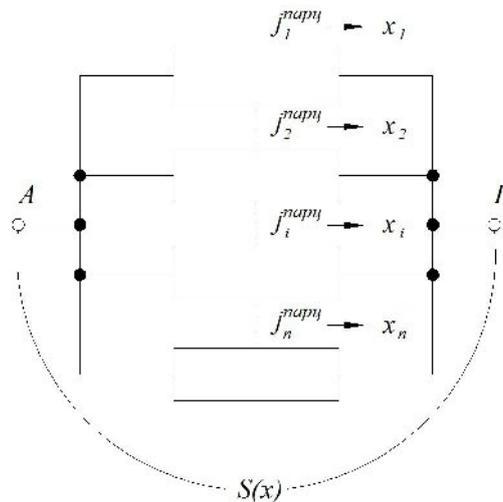


Рис. 2. Параллельное по работоспособности соединение элементов

В качестве вычислительной операции над булевыми переменными  $x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n$  при параллельном соединении элементов применяют булево сложение (дизъюнкцию)  $V_{i=1}^n x_i$ .

Если обе возможные реализации каждой булевой переменной ограничиваются лишь числами 0 и 1, то булево сложение можно заменить эквивалентной алгебраической операцией сложения [1].

$$V_{i=1}^n x_i = 1 - \prod_{i=1}^n [(1 - x_i)] = \max(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (16)$$

Работоспособность или отказ элементов тормозного управления целесообразно определять при дорожных испытаниях с использованием бортового регистрационного комплекса конструкции ХНАДУ [2]. Этот комплекс включает в себя компьютер и несколько трехкоординатных датчиков ускорений (минимум два). При торможении автомобиля и автопоезда со всеми работоспособными элементами реализуется номинальное (соответствующее техническим условиям на машину) замедление.

Выражение (5) можно преобразовать к виду

$$m_{ан} \dot{V} = \beta_1 P_T + \beta_2 P_T + \beta_3 P_T + \beta_4 P_T + \beta_5 P_T = P_T \sum_{i=1}^n \beta_i, \quad (17)$$

где  $\beta_1; \beta_2; \beta_3; \beta_4; \beta_5$  – доля общей тормозной силы автопоезда, приходящаяся на соответствующую тормозную ось.

Уравнение парциальных замедлений

$$j = \frac{|P_T| \beta_1}{m_{ан}} + \frac{|P_T| \beta_2}{m_{ан}} + \dots + \frac{|P_T| \beta_i}{m_{ан}} + \dots + \frac{|P_T| \beta_n}{m_{ан}}. \quad (18)$$

При отказе тормозов одной из осей (или нескольких осей) замедление автомобильного поезда  $j$  будет отличаться от номинального  $j_{ном}$  на величину  $\Delta j$ .

$$\Delta j = j_{ном} - \frac{|P_T|}{m_a} \sum_{k=1}^L \beta_k = j_{ном} - \sum_{k=1}^L j_k^{парц}, \quad (19)$$

где  $L$  – число отказавших элементов (осей с отказавшими тормозами).

Если предварительно в начале эксплуатации определить парциальные ускорения, создаваемые тормозными механизмами каждой из осей, находящихся в работоспособном состоянии, то по величине  $\Delta j$  можно определить отказавший элемент (ось или несколько осей автомобиля, на которых отказали тормозные механизмы).

Применение аппарата булевой алгебры позволит оценить вероятность отказа тормозного управления при наличии как работоспособных, так и отказавших элементов.

**Выводы.** В результате проведенного исследования с использованной булевой модели надежности и метода парциальных ускорений (замедлений) предложен метод оценки технического состояния и надежности тормозного управления автомобилей и автомобильных поездов.

**Литература:** 1. Райшике К. Модели надежности и чувствительности систем / К. Райшике. Пер. с нем. Б.А. Козлова. – М.: Мир, 1979. – 452 с. 2. Метод парциальных ускорений и его приложения в динамике мобильных машин/ Артемов Н.П., Лебедев А.Т., Подригало М.А., Полянский А.С., Клец Д.М., Коробка А.И., Задорожня В.В. Под ред. М.А. Подригало – Харьков: изд-во «Міськдрук», 2012. – 220с. 3. Тарг С.М. Краткий курс теоретической механики/ С.М. Тарг.- М.: Наука, 1968. – 480с. 4. Єдині технічні приписи щодо офіційного затвердження дорожніх транспортних засобів категорій М, N і О стосовно гальмування (Чинний від 2002-07-24-К.: Держспоживстандарт України, 2002. – 180с.- (Національний стандарт України).

**Bibliography (transliterated):** 1. Rajnshke K. Modeli nadezhnosti i chuvstvitel'nosti sistem / K. Rajnshke. Per. s nem. B.A. Kozlova. – M.: Mir, 1979.-452s. 2. Metod parcial'nyh uskorenij i ego prilozhenija v dinamike mobil'nyh mashin/ Artemov N.P., Lebedev A.T., Podrigalo M.A., Poljanskij A.S., Klec D.M., Korobka A.I., Zadorozhnjaja V.V. Pod red. M.A. Podrigalo – Har'kov: izd-vo «Mis'kdruk», 2012. – 220s. 3. Targ S.M. Kratkij kurs teoreticheskoy mehaniki/ S.M. Targ.- M.: Nauka, 1968.-480s. 4. Єдині технічні приписи щодо офіційного затвердження дорожніх транспортних засобів категорій М, N і О стосовно гальмування (Чинний від 2002-07-24-К.: Держспоживстандарт України, 2002. – 180с.- (Nacional'nij standart Ukraїni).

Плетньов В.М.

#### ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ ПАРЦІАЛЬНИХ ПРИСКОРЕНЬ ДЛЯ ОЦІНКИ НАДІЙНОСТІ ГАЛЬМІВНОГО КЕРУВАННЯ АВТОМОБІЛІВ

Запропонований метод оцінки надійності гальмівного керування автомобільних поїздів на основі методу парціальних прискорень. Отримані результати можуть бути використані на автомобілебудівних підприємствах при проектуванні нових та модернізації автомобілів, що знаходяться в експлуатації.

Плетнев В.Н.

#### ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ПАРЦИАЛЬНЫХ УСКОРЕНИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ ТОРМОЗНОГО УПРАВЛЕНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ

Предложен метод оценки надежности тормозного управления автомобильных поездов на основе метода парциальных ускорений. Полученные результаты могут быть использованы на автомобилестроительных предприятиях при проектировании новых и модернизации находящихся в эксплуатации автомобилей.

Pletnyov V.

#### APPLICATION OF PARTIAL ACCELERATIONS METHOD FOR CARS BRAKE MANAGEMENT RELIABILITY ESTIMATION

The method of estimation of motor-car trains brake management reliability on the basis of method of partial accelerations is offered. The got results can be drawn on motor industry enterprises at planning of new and modernization of being in exploitation cars.