

ИССЛЕДОВАНИЕ ОЧЕРЕДНОСТИ БЛОКИРОВАНИЯ КОЛЕС В РАЗЛИЧНЫХ ФАЗАХ ПРОЦЕССА ТОРМОЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЯ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Проведено исследование влияния скачкообразного изменения вертикальных реакций на колесах, вызванного блокированием колес, на характер протекания фаз процесса торможения автомобиля.

Постановка проблемы. Динамика процесса торможения автомобиля исследована достаточно глубоко в отечественной и зарубежной литературе. Определены фазы процесса торможения, характеризующиеся определенным сочетанием заблокированных и незаблокированных колес различных осей. Однако в известных исследованиях не учтен скачкообразный характер изменения вертикальных нагрузок на оси автомобиля при блокировании колес, приводящий к появлению новых, ранее не исследованных явлений.

Анализ последних достижений и публикаций. В работе [1] определены три фазы процесса торможения двухосного автомобиля:

- при незаблокированных колесах (1-я фаза);
- при заблокированных колесах одной из осей (2-я фаза);
- при всех заблокированных колесах (3-я фаза).

При одновременном блокировании всех колес 2-я фаза отсутствует. Наилучшим с позиций обеспечения высокой эффективности торможения, устойчивости и управляемости автомобиля является режим торможения в 1-й фазе.

В идеальном случае торможение должно происходить на границе 1-ой и 2-ой фаз. При одновременном доведении до грани блокирования всех колес. В этом случае торможение происходит с максимальной эффективностью, поскольку полностью реализуется сцепной вес автомобиля при максимальном значении коэффициента сцепления колес дорогой (причем, на всех колесах).

Предложенный в работе Е.А. Чудакова [2] и названный идеальным закон распределения тормозных сил между осями

$$\beta_{уд} = \frac{b}{L} + \varphi \frac{h}{L}, \quad (1)$$

где b - расстояние от задней оси до проекции центра масс на горизонтальную плоскость; L - продольная колесная база автомобиля; h - высота центра масс автомобиля; φ - коэффициент сцепления колес с дорогой; по замыслу автора обеспечивает одновременное доведение до грани блокирования и блокирование всех колес автомобиля.

Нами определено [3], что понятия «одновременное доведение до грани блокирования» и «одновременное блокирование» колес автомобиля не являются идентичными. Одновременное доведение передних и задних колес двухосного автомобиля до грани блокирования возможно при следующем законе распределения тормозных сил между осями (при «жестких» колесах)

$$\beta'_{уд} = \frac{b}{L} + \varphi \frac{h - r_{ce}}{L}, \quad (2)$$

где r_{ce} - свободный радиус колеса.

На рис. 1 приведены графики зависимостей (1) и (2).

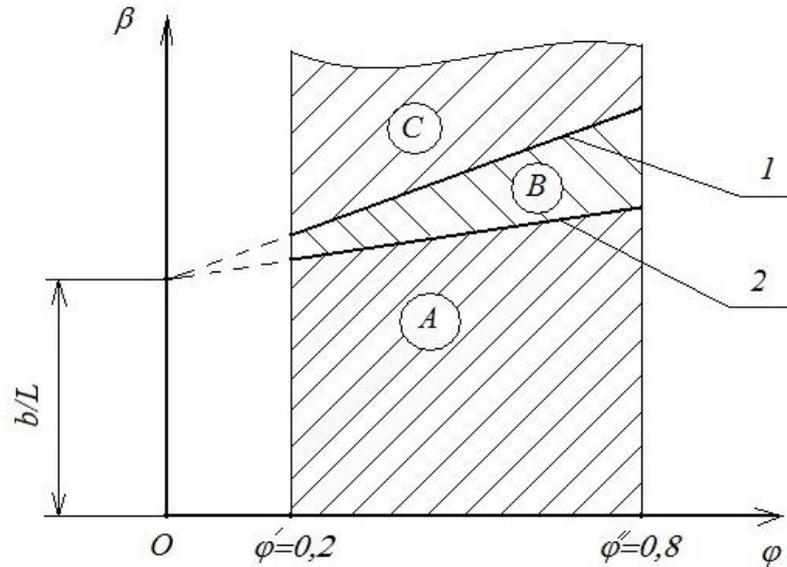


Рис.1. Зависимости идеального коэффициента распределения тормозной силы на переднюю ось от коэффициента сцепления колес с дорогой: 1 – зависимость (1); 2 – зависимость (2); А – зона опережающего доведения до грани блокирования задних колес; В и С - зоны опережающего доведения до грани блокирования передних колес; ϕ' , ϕ'' - минимальное и максимальное значения коэффициентов сцепления колес с дорогой.

Зона А на рис. 1 соответствует массиву значений действительного коэффициента β_0 распределения тормозной силы на переднюю ось, при которых первыми будут доведены до грани блокирования задние колеса автомобиля. В зонах В и С значений β_0 первыми до грани блокирования будут доведены передние колеса.

Цель и постановка задачи исследования. Целью исследования является определение очередности блокирования колес в различных фазах процесса торможения при скачкообразном изменении вертикальных реакций на колесах, вызванных блокированием колес автомобиля.

Для достижения заданной цели необходимо решить следующие задачи:

- определить вертикальные реакции дороги на передних и задних колесах при различном сочетании заблокированных и незаблокированных колес автомобиля;
- определить очередность блокирования колес, соответствующую различным фазам процесса торможения автомобиля.

Определение вертикальных реакций на осях. Предположим, что передние и задние колеса одновременно достигли предела блокирования. Суммарные вертикальные реакции на осях в этом случае

$$R_{z_1} = G_a \left(\frac{b}{L} + \phi \cdot \frac{h - r_{ce}}{L} \right), \quad (3)$$

$$R_{z_2} = G_a \left(\frac{b}{L} - \phi \cdot \frac{h - r_{ce}}{L} \right), \quad (4)$$

где R_{z_1} , R_{z_2} - суммарные динамические вертикальные реакции на передней и задней осях автомобиля; G_a - общий вес автомобиля.

При блокировании любых колес (передних или задних) вертикальная нагрузка на передней оси резко возрастает, а на задней – снижается. В этом случае передние колеса разблокируются, поскольку

$$\varphi R_{z_1} > P_{T_1}, \quad (5)$$

а задние остаются заблокированы вследствие того, что

$$\varphi R_{z_2} < P_{T_2}, \quad (6)$$

P_{T_1} , P_{T_2} - суммарные тормозные силы на передней и задней осях соответственно.

При незаблокированных колесах суммарные динамические вертикальные реакции на осях можно определить как

$$R_{z_1} = G_a \cdot \frac{b}{L} + P_{T_1} \cdot \frac{h-r_{cg}}{L} + P_{T_2} \cdot \frac{h-r_{cg}}{L}, \quad (7)$$

$$R_{z_2} = G_a \cdot \frac{a}{L} - P_{T_1} \cdot \frac{h-r_{cg}}{L} - P_{T_2} \cdot \frac{h-r_{cg}}{L}. \quad (8)$$

где a - расстояние от передней оси до проекции центра масс на горизонтальную плоскость.

При блокировании передних колес

$$P_{T_1} = \varphi R_{z_1}, \quad (9)$$

и выражения (7), (8) преобразуются к виду

$$R_{z_1} = G_a \cdot \frac{b}{L} + \varphi R_{z_1} \cdot \frac{h}{L} + P_{T_2} \cdot \frac{h-r_{cg}}{L}, \quad (10)$$

$$R_{z_2} = G_a \cdot \frac{a}{L} - \varphi R_{z_1} \cdot \frac{h}{L} - P_{T_2} \cdot \frac{h-r_{cg}}{L}. \quad (11)$$

Учитывая, что

$$R_{z_1} = G_a - R_{z_2}, \quad (12)$$

преобразуем выражения (10) и (11)

$$R_{z_1} = \frac{G_a \frac{b}{L} + P_{T_2} \frac{h-r_{cg}}{L}}{1 - \varphi \cdot \frac{h}{L}}, \quad (13)$$

$$R_{z_2} = \frac{G_a \left(\frac{a}{L} - \varphi \cdot \frac{h}{L} \right) - P_{T_2} \frac{h-r_{cg}}{L}}{1 - \varphi \cdot \frac{h}{L}}. \quad (14)$$

При заблокированных передних колесах и доведении задних колес до грани блокирования справедливо соотношение

$$P_{T_2} = \varphi R_{z_2}. \quad (15)$$

После подстановки (15) в (13) и (14) получим с учетом соотношения (12)

$$R_{z_1} = G_a \frac{\frac{b}{L} + \varphi \frac{h-r_{ce}}{L}}{1 - \varphi \cdot \frac{r_{ce}}{L}}, \quad (16)$$

$$R_{z_2} = G_a \frac{\frac{a}{L} - \varphi \frac{h}{L}}{1 - \varphi \cdot \frac{r_{ce}}{L}}. \quad (17)$$

Очевидно, что отношения R_{z_1}/G_a и R_{z_2}/G_a будут равны, соответственно, коэффициентам распределения суммарных касательных реакций между передней и задней осями автомобиля, соответствующих торможению с передними заблокированными колесами и задними, находящимися на грани блокирования

$$\beta'_x = \frac{\frac{b}{L} + \varphi \frac{h-r_{ce}}{L}}{1 - \varphi \cdot \frac{r_{ce}}{L}}, \quad (18)$$

$$1 - \beta'_x = \frac{\frac{a}{L} - \varphi \frac{h}{L}}{1 - \varphi \cdot \frac{r_{ce}}{L}}. \quad (19)$$

При блокировании задних колес справедливо соотношение (15) и выражения (7) и (8) примут вид

$$R_{z_1} = G_a \cdot \frac{b}{L} + P_{T_1} \cdot \frac{h-r_{ce}}{L} + \varphi R_{z_2} \cdot \frac{h}{L}, \quad (20)$$

$$R_{z_2} = G_a \cdot \frac{a}{L} - P_{T_1} \cdot \frac{h-r_{ce}}{L} - \varphi R_{z_2} \cdot \frac{h}{L}, \quad (21)$$

или, проведя преобразования, получим, с учетом соотношения (12)

$$R_{z_1} = \frac{G_a \left(\frac{b}{L} + \varphi \frac{h}{L} \right) + P_{T_1} \cdot \frac{h-r_{ce}}{L}}{1 + \varphi \cdot \frac{h}{L}}, \quad (22)$$

$$R_{z_2} = \frac{G_a \frac{a}{L} - P_{T_1} \cdot \frac{h-r_{ce}}{L}}{1 + \varphi \cdot \frac{h}{L}}. \quad (23)$$

При доведении передних колес до грани блокирования выполняется равенство (9), и выражения (22) и (23) преобразуются

$$R_{z_1} = G_a \frac{\frac{b}{L} + \varphi \frac{h}{L}}{1 + \varphi \cdot \frac{r_{ce}}{L}}, \quad (24)$$

$$R_{z_2} = G_a \frac{\frac{a}{L} - \varphi \cdot \frac{h - r_{ce}}{L}}{1 + \varphi \cdot \frac{r_{ce}}{L}}. \quad (25)$$

Коэффициенты распределения суммарных касательных реакций между осями для данного случая

$$\beta_x'' = \frac{R_{z_1}}{G_a} = \frac{\frac{b}{L} + \varphi \frac{h}{L}}{1 + \varphi \cdot \frac{r_{ce}}{L}}, \quad (26)$$

$$1 - \beta_x'' = G_a \frac{\frac{a}{L} - \varphi \cdot \frac{h - r_{ce}}{L}}{1 + \varphi \cdot \frac{r_{ce}}{L}}. \quad (27)$$

При всех заблокированных колесах суммарные динамические вертикальные реакции на осях определяются известными [1, 2] зависимостями

$$R_{z_1} = G_a \left(\frac{b}{L} + \varphi \cdot \frac{h}{L} \right), \quad (28)$$

$$R_{z_2} = G_a \left(\frac{a}{L} - \varphi \frac{h}{L} \right). \quad (29)$$

Коэффициент распределения касательных реакций между осями β_x''' в данном случае определяется зависимостью (1), т.е.

$$\beta_x''' = \beta_{уд}. \quad (30)$$

Обоснование полученных научных результатов. На рис. 2 приведены графики зависимостей $\beta_{уд}(\varphi)$, $\beta_{уд}'(\varphi)$, $\beta_x'(\varphi)$, $\beta_x''(\varphi)$. Как уже отмечалось, следует различать понятия «одновременное доведение до грани блокирования» и «одновременное блокирование» колес. На рис. 1 показаны зоны опережающего доведения до грани блокирования задних колес (зона *A*) и опережающего доведения до грани блокирования передних колес (зоны *B* и *C*). Зона опережающего блокирования задних колес на рис. 2 находится ниже кривой $\beta_x'(\varphi)$ (зона *D*). При $\beta_\partial > \beta_x'(\varphi)$ (зона *E*) происходит опережающее блокирование передних колес.

Блокирование колес одной из осей характеризует начало 2-ой фазы процесса торможения. Вторая фаза характеризуется торможением автомобиля с заблокированными колесами одной оси и незаблокированными колесами другой. При достижении границ 2-ой и 3-ей фаз торможения происходит блокирование колес второй оси, которые ранее были не заблокированы. При блокировке колес любой оси (передней или задней) происходит резкое (скачкообразное) уменьшение суммарной вертикальной динамической реакции на колесах задней оси и соответствующее увеличение реакции на колесах передней оси.

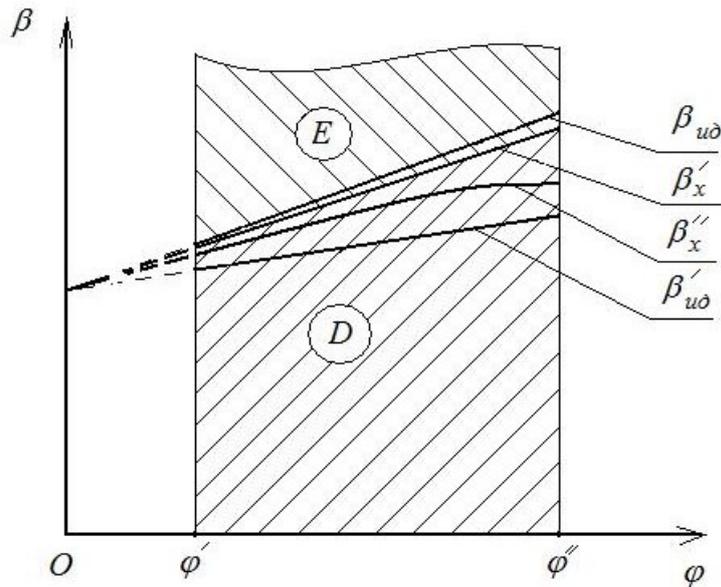


Рис.2. Зависимость коэффициентов $\beta(\varphi)$ распределения тормозной силы на переднюю ось от коэффициента сцепления колес с дорогой: D – зона опережающего блокирования задних колес; E – зона опережающего блокирования передних колес.

При опережающем блокировании задних колес на границе 1-ой и 2-ой фаз после блокировки передних колес на границе 2-ой и 3-ей фаз происходит еще большее уменьшение вертикальной нагрузки на задние колеса. Поэтому в 2-ой и 3-ей фазе происходит торможение автомобиля со всеми заблокированными колесами.

При опережающем блокировании передних колес на границе 1-ой и 2-ой фаз после блокировки задних колес происходит резкое уменьшение вертикальной нагрузки на последние и увеличение указанной нагрузки на передние колеса.

Разблокирование передних колес после блокирования задних возможно в случае

$$\Delta R_{z_1} > 0, \tag{31}$$

где ΔR_{z_1} - изменение вертикальной нагрузки на передние колеса после блокирования задних колес автомобиля,

$$\Delta R_{z_1} = R_{z_1}^* - R_{z_1}^{**}, \tag{32}$$

где $R_{z_1}^*$ - суммарная динамическая вертикальная реакция на колесах задней оси и незаблокированных передних колесах;

$$R_{z_1}^* = G_a \cdot \frac{b}{L} + P_{T_1} \cdot \frac{h - r_{cg}}{L} + P_{T_2} \cdot \frac{h}{L}, \tag{33}$$

где $R_{z_1}^{**}$ - суммарная динамическая вертикальная реакция на колесах передней оси при заблокированных передних и незаблокированных задних колесах,

$$R_{z_1}^{**} = G_a \cdot \frac{b}{L} + P_{T_1} \cdot \frac{h}{L} + P_{T_2} \cdot \frac{h - r_{cg}}{L}. \tag{34}$$

Таким образом,

$$\Delta R_{z_1} = \frac{r_{св}}{L} (P_{T_2} - P_{T_1}) > 0. \quad (35)$$

На границе 2-ой и 3-ей фаз при разблокировании передних колес справедливы соотношения

$$P_{T_1} = \beta_x'' \cdot P_T = \beta_x'' \cdot \varphi G_a, \quad (36)$$

$$P_{T_2} = (1 - \beta_x'') \cdot P_T = (1 - \beta_x'') \cdot \varphi G_a, \quad (37)$$

где P_T - общая тормозная сила автомобиля.

Для данного случая

$$P_{T_1} = G_a \varphi. \quad (38)$$

Подставляя выражения (36), (37), (38) в неравенство (35), получим

$$G_a \varphi \frac{r_{св}}{L} (1 - 2\beta_x'') > 0. \quad (39)$$

Неравенство (39) справедливо при $\beta_x'' < 0,5$.

В работе [3] нами доказано, что $\beta_x'' > \beta_x'$ при $\beta_x'' < 0,5$. Таким образом, в этом случае на границе 2-ой и 3-ей фаз после блокирования задних колес произойдет разблокирование передних. В этом случае граница 3-ей фазы по времени будет достигнута позже. Можно сказать о том, что 2-ая фаза будет состоять из двух временных промежутков – 2а и 2б (рис. 3). В промежутке 2а торможение будет происходить с заблокированными передними и незаблокированными задними колесами. В промежутке времени 2б торможение будет происходить с заблокированными задними и незаблокированными передними колесами.

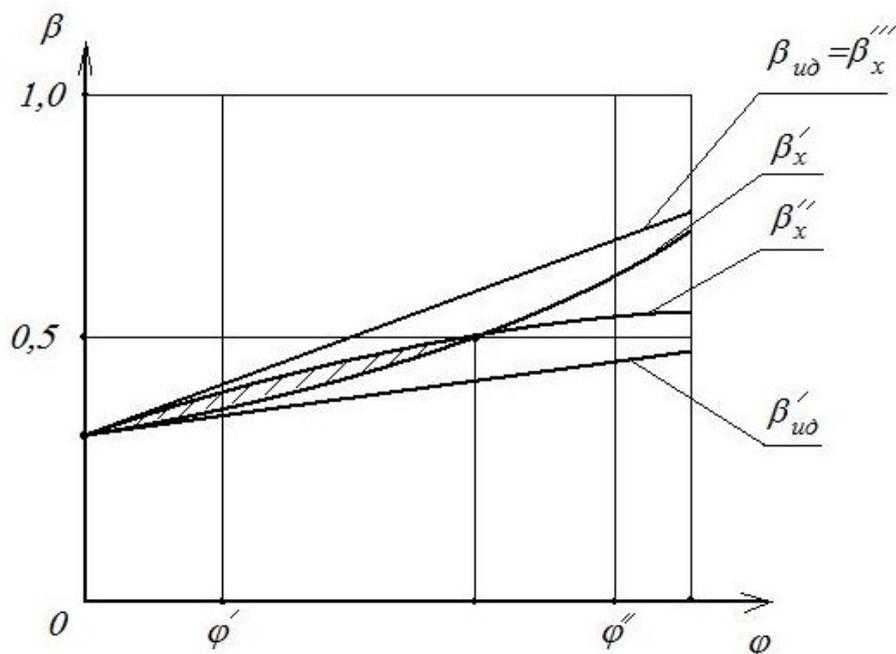


Рис.3. Зона, в которой возможно разделение фазы 2 на временные промежутки 2а и 2б (заштрихована)

При невыполнении условия (39) на границе 2-ой и 3-ей фаз после блокировки задних колес передние колеса останутся заблокированными.

С учетом выражения (26) определим

$$\beta_x'' = \frac{\frac{b}{L} + \varphi \frac{h}{L}}{1 + \varphi \cdot \frac{r_{ce}}{L}} < 0,5. \quad (40)$$

Из неравенства (40) получим

$$\frac{b}{L} < 0,5(1 + \varphi \cdot \frac{r_{ce}}{L}). \quad (41)$$

Таким образом, разделение фазы 2 на промежутки 2а и 2б возможно при выполнении условия (41).

Следует обратить внимание на то, что при блокировании колес любой из осей (передней или задней) происходит скачкообразное уменьшение вертикальной нагрузки на заднюю ось автомобиля. Соответственно, при разблокировании колес эта нагрузка возрастает. Не является ли увеличение вертикальной нагрузки на заднюю ось при разблокировании колес той самой причиной, вызывающей повышение устойчивости движения автомобиля при торможении с антиблокировочной системой?

Выводы.

1. Полученные зависимости позволяют определить суммарные вертикальные динамические реакции на колесах передней и задней осей в различных фазах торможения автомобиля.

2. Уточнены границы различных фаз торможения автомобиля с учетом резкого (скачкообразного) изменения вертикальной нагрузки на колеса при блокировании колес. При блокировании любых колес вертикальная нагрузка на задние колеса скачкообразно уменьшается, а на передние – увеличивается.

3. При смещении центра масс к задней оси автомобиля возможна ситуация, при которой на границе 2-ой и 3-ей фаз торможения происходит блокирование задних колес и разблокирование передних. Вторая фаза процесса торможения в этом случае состоит из двух временных промежутков:

- при заблокированных передних колесах и незаблокированных задних;
- при разблокированных передних и заблокированных задних колесах.

4. Возможной причиной повышения курсовой устойчивости автомобиля при торможении автомобиля с антиблокировочной системой является скачкообразное увеличение вертикальной нагрузки на заднюю ось при разблокировании колес.

Литература: 1. Булгаков Н.А. Исследование динамики торможения автомобиля / Н.А. Булгаков, А.В. Гредескул, С.И. Ломака // Научное сообщение №18. – Харьков: Изд-во Харьковского государственного университета. -1962. -36 с. 2. Чудаков Е.А. Теория автомобиля / Е.А. Чудаков. – М.: МАШГИЗ, 1950. -343с. 3. Подригало М.А. Влияние распределения тормозных сил между осями на фазы процесса торможения автомобиля при эксплуатации / М.А. Подригало, В.И. Назаров. // Вісник Донецької академії автомобільного транспорту. – 2011. - №1. – с. 77-88.

Bibliography (transliterated): 1. Bulgakov N.A. Issledovanie dinamiki tormozhenija avtomobilja / N.A. Bulgakov, A.V. Gredeskul, S.I. Lomaka // Nauchnoe soobwenie №18. – Har'kov: Izd-vo Har'kovskogo gosudarstvennogo universiteta. -1962. -36 s. 2. Chudakov E.A. Teorija avtomobilja / E.A. Chudakov. – M.: MASHGIZ, 1950. -343s. 3. Podrigalo M.A. Vlijanie raspredelenija

tormoznyh sil mezhdru osjami na fazy processa tormozhenija avtomobilja pri jekspluataciji / M.A. Podrigalo, V.I. Nazarov. // Visnik Donec'koї akademii avtomobi-l'nogo transportu. – 2011. - №1. – s. 77-88.

Подригало М.А., Назаров В.І.

**ДОСЛІДЖЕННЯ ПОРЯДКУ БЛОКУВАННЯ КОЛІС У РІЗНИХ ФАЗАХ
ПРОЦЕСУ ГАЛЬМУВАННЯ АВТОМОБІЛЯ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ**

Проведено дослідження впливу скачкоподібної зміни вертикальних навантажень на колесах, викликаних блокуванням коліс, на характер протікання фаз процесу гальмування автомобіля.

Podryhalo M., Nazarov V.

**INVESTIGATION OF ORDER OF WHEELS BLOCKING AT DIFFERENT PHASES
OF VEHICLES BRAKING PROCESS AT ITS OPERATION**

The investigation concerning the effect of discontinuous change of vertical reactions on the wheels caused by wheels blocking on the type of behavior of vehicles braking process phases is carried out.

УДК 629.083

*Полянский А.С., д-р техн. наук; Эллис С.В., канд. техн. наук
Молодан А.А., канд. техн. наук*

**ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ НОВЫХ И ОТРЕМОНТИРОВАННЫХ
ДВИГАТЕЛЕЙ В ПЕРИОД ЭКСПЛУАТАЦИИ**

Постановка проблемы. Повышение качества ремонта автотракторных двигателей является одним из важнейших условий их эффективного использования. Раскрытие связей между факторами, формирующими уровень качества ремонта, является основой оценки и прогнозирования их послеремонтного ресурса. Усложнение конструкции машин обуславливает высокие требования к их надежности как по одному из важнейших параметров качества. Однако, в условиях реальной эксплуатации, как и раньше, надежность составляет 60-80% нормативной, для отремонтированных двигателей – она еще ниже на 20-40%, причем больше чем 10% отказов приходится на цилиндро-поршневую группу (ЦПГ) и газораспределительный механизм (ГРМ). Известные методы и способы оценки технического состояния ЦПГ и ГРМ, среди которых важное место отведено методу диагностирования по утечкам газов из надпоршневого пространства в картер двигателя, не учитывают количество газов поступающих через ЦПГ и какая доля этих газов приходится на газораспределительный механизм. Поэтому исследование процесса разделения потоков газов, поступающих в картер из надпоршневого пространства при оценке технического состояния этих соединений является актуальной.

Анализ основных достижений и публикаций. Ранее проведенные исследования Климпшум О.Д. [1] показали зависимости изменения мощности механических потерь, амплитуды вибрации и температуры отработавших газов от износа ЦПГ. Однако, чувствительность этих параметров к износу ЦПГ незначительна. Более высокой чувствительностью отличаются расход масла, утечка сжатого воздуха, прорыв газов в картер двигателя и температура отработавших газов. При предельных износах ЦПГ значения этих параметров отличаются от исходных в 3-5 раз.