

## МЕХАНИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АЛГОРИТМА РАБОТЫ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ЗАГРУЗКИ КАРЬЕРНОГО САМОСВАЛА

Бусел Б.У.<sup>1</sup>, Заболоцкий М.М.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет

<sup>2</sup>Открытое акционерное общество "БЕЛАЗ"

Современные карьерные самосвалы оборудуются рядом систем контроля и управления, работающих на базе бортового контроллера. Важное значение имеет система контроля загрузки (СКЗ). Она выполняет следующие функции: контроль и управление процессом загрузки; определение веса груза; защита конструкции самосвала от перегрузок.

Основные технические требования к современным СКЗ: погрешность оценки сил в цилиндрах подвески и, в итоге, веса груза не более 3%; контроль процесса загрузки, уточненная оценка веса груза и процедуры защиты самосвала от перегрузок выполняются без участия водителя; СКЗ должна выдавать водителю информацию и указания, имеющие статус от рекомендательных до директивных.

Все процедуры и действия СКЗ основываются на определении сил в подвесках и, в первую очередь, весовых нагрузок. Карьерные самосвалы БелАЗ имеют гидропневматическую подвеску. Поэтому, основными информационными параметрами СКЗ являются процессы давления газа в цилиндрах подвески.

Рассмотрим случай, когда самосвал стоит на месте свободно (взаимосвязь систем подвески и трансмиссии отсутствует). Вес подрессоренной массы в этом случае определяется выражением

$$G = \left[ \left( p_{1л} + p_{1пр} \right) S_n u_1 + \left( F_{1л} + F_{1пр} \right) u_1 + \left( p_{2л} + p_{2пр} \right) S_3 u_2 + \left( F_{2л} + F_{2пр} \right) u_2 \right] \cdot \frac{1}{\cos \alpha \cdot \cos \theta}. \quad (1)$$

Введены обозначения

$p_{1л}, p_{1пр}, p_{2л}, p_{2пр}$  - величина давления в цилиндрах подвески самосвала (1-передняя; 2-задняя; л-левый; пр-правый);

$S_n, S_3$  - активная площадь штока цилиндра передней и задней подвесок соответственно;

$u_1, u_2$  - текущие значения передаточных чисел кинематики передней и задней подвесок соответственно.

Значения  $u_1, u_2$  определяются по выражениям

$$u_1 = u_{1p} \cdot \cos \beta_1 \cdot \cos \gamma_1$$

$$u_2 = u_{2p} \cdot \cos \beta_2 \cdot \cos \gamma_2.$$

Здесь:  $u_{1p}$  и  $u_{2p}$  - передаточные числа рычажной системы подвесок;

$\beta_1, \beta_2, \gamma_1, \gamma_2$  - углы наклона оси цилиндров передней (1) и задней (2) подвесок в поперечной ( $\beta$ ) и продольной ( $\gamma$ ) плоскостях относительно вертикали;

$\alpha, \theta$  - углы наклона поверхности дороги (площадки) в продольной и поперечной плоскостях соответственно в пределах базы самосвала;

$F_{1л}, F_{1np}, F_{2л}, F_{2np}$  - суммарные силы "сухого трения" в подвесках, приведенные к оси пневмогидравлических цилиндров.

Был выполнен расчетно-экспериментальный анализ влияния параметров, входящих в выражение (1) на точность оценки веса в статическом положении самосвала.

Значения углов  $\beta$  и  $\gamma$  изменяются при погрузке/разгрузке самосвалов БелАЗ не более чем на  $3^\circ$  для передней подвески и на  $2^\circ$  для задней подвески. При движении груженого самосвала величина изменений уменьшается в 3 раза для передней подвески и в 4 раза для задней подвески. В целом, при оценке веса груза по выражению (1) игнорирование изменений этих углов приводит к погрешности, не превышающей 0,2%.

Оценка влияния величины углов уклона поверхности дороги в продольной и поперечной плоскостях на погрешность оценки веса поддрессоренной массы самосвала проводилась с помощью модели "поверхность дороги – самосвал", созданной в ПО "ADAMS".

Угловое положение поверхности дороги в продольной и поперечной плоскостях изменялось в широких пределах. Виртуальные инклинометры фиксировали угловое положение поддрессоренной массы самосвала (с учетом деформаций цилиндров подвески и шин) и уклоны поверхности дороги. Вес поддрессоренной массы определялся по давлениям в цилиндрах подвески с учетом передаточных чисел кинематики и затем корректировался по показаниям виртуальных инклинометров. Результаты расчетного эксперимента приведены в таблице.

Угол, град	Продольная плоскость	Поперечная плоскость	Продольная плоскость	Поперечная плоскость	Продольная плоскость	Поперечная плоскость
	10,2 (18%)	10,2 (18%)	10,2 (18%)	0	6 (10%)	6
Вес по давлениям	$G_1$		$G_2$		$G_3$	
Вес с учётом уклона дороги	1,032 $G_1$		1,016 $G_2$		1,011 $G_3$	
Вес с учётом углового положения подрессоренной мас- сы	1,054 $G_1$		1,024 $G_2$		1,016 $G_3$	

Таким образом, в реальных условиях эксплуатации оценка веса подрессоренной массы самосвала без учета углов уклонов дорожной поверхности приводит к ошибкам, не превышающим 1,6÷1,8%.

Следует отметить, что бортовая система для достаточно точного определения углов уклонов дорожной поверхности будет технически сложным и дорогостоящим компонентом карьерного самосвала.

Результаты экспериментально-расчётных исследований, выполненных БелАЗом и БНТУ, показывают, что в целом силы "сухого трения" в подвесках самосвалов БелАЗ не превышают 2÷2,5% от веса подрессоренной массы. Для выполнения СКЗ процедур контроля процесса загрузки самосвала погрешность, вносимая "сухим трением" в указанных пределах допустима. По техническим требованиям уточнённая оценка веса груза должна выполняться при движении самосвала. При этом влияние сил "сухого трения" на оценки веса подрессоренной массы практически исключается.

Таким образом, уравнение для оценки веса и контроля процесса загрузки самосвала может быть записано в виде

$$G_{cp} = [(p_{1л} + p_{1np})S_n u_1 + (p_{2л} + p_{2np})S_3 u_2] - G_{cn},$$

где  $G_{cn}$  - вес подрессоренной массы в снаряжённом состоянии самосвала.

Уточнённая оценка веса груза согласно техническим требованиям по СКЗ должна выполняться при движении самосвала в тяговом режиме. Кинематическая схема подвесок самосвалов БелАЗ показана на рис. 1. Видно,

что вес подрессоренной массы воспринимается гидропневматическими цилиндрами и жесткими центральными шарнирами направляющего аппарата. Поэтому, при движении самосвала, вследствие действия реактивных моментов, весовая нагрузка существенным образом перераспределяется между указанными элементами. Так, в тяговом режиме нагрузка на цилиндры задней подвески снижается и соответственно увеличивается нагрузка на центральный шарнир. Следовательно, величина давления в цилиндрах не соответствует весовой нагрузке.

Силовое действие реактивного момента передается на подрессоренную массу и приводит к перераспределению нагрузок на подвески самосвала, (см. рис. 1). Величина соответствующей силы определяется выражением

$$\Delta N = \frac{M p}{L}. \quad (2)$$

Таким образом, нагрузка на переднюю подвеску будет

$$N_1 = N_{1cm} - \Delta N, \quad (3)$$

на заднюю

$$N_2 = N_{2cm} + \Delta N,$$

где  $N_{1cm}$  и  $N_{2cm}$  – нагрузки на подвески в статическом состоянии.

В реактивном контуре заднего моста формируются усилия, образующие пару сил и действующие в центральном шарнире и цилиндрах подвески. Величина силы определяется выражением

$$\Delta F = \frac{M p}{a + b}. \quad (4)$$

Тогда усилия в шарнире  $F_{2u}$  и цилиндрах  $F_{2y}$  определяются следующим образом:

$$\begin{aligned} F_{2u} &= (N_{2cm} + \Delta N) \frac{b}{a + b} + \Delta F, \\ F_{2y} &= (N_{2cm} + \Delta N) \frac{a}{a + b} - \Delta F. \end{aligned} \quad (5)$$

После преобразования (5) с учётом (2) и (4) получаем

$$N_{2cm} = F_{2y} u - \frac{M p}{a} \left( \frac{M p}{L} - 1 \right).$$

Из выражения (3) имеем

$$N_{1cm} = N_1 + \frac{M_p}{L}.$$

Вес подрессоренной массы определяется суммой

$$\begin{aligned} G &= N_{1cm} + N_{2cm} = N_1 + \frac{M_p}{L} + N_{2cm} = F_{2u} - \frac{M_p}{a} \left( \frac{M_p}{L} - 1 \right) = \\ &= N_1 + F_{2u} + \frac{M_p}{a}. \end{aligned}$$

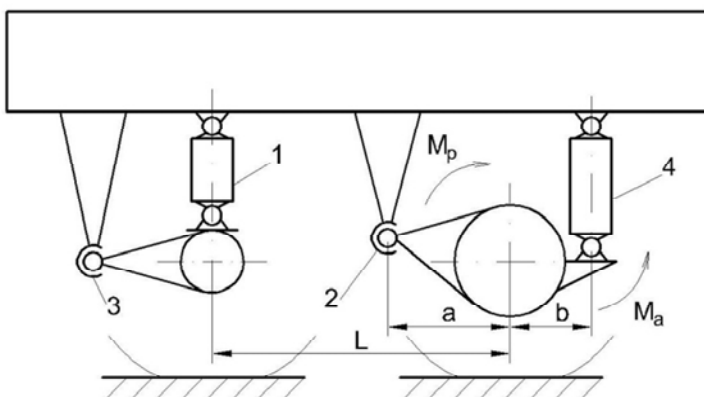


Рис. 1. Кинематическая схема подвески:

1, 2 — цилиндры передней и задней подвески;  $M_a$  — активный момент;  $M_p$  — реактивный момент; 3, 4 — центральные шарниры передней и задней подвески.

Таким образом, уточненная оценка веса груза определяется при движении самосвала по выражению

$$G_{гр} = \frac{1}{m} \left\{ \sum_i^m \left[ \left( p_{1ли} + p_{1при} \right) S_{п1} u_1 + \left( p_{2ли} + p_{2при} \right) S_{з2} u_2 + \frac{M_{pi}}{a} \right] \right\} - G_{сн}, \quad (6)$$

где  $i$  — номер текущей ординаты процесса давления в цилиндре подвески;  $m$  — количество ординат процессов.

Значение параметра  $M_p$  изменяется в широких пределах и определяется величиной текущих параметров работы тягового электропривода. Так при движении на подъемах большой крутизны 7÷12% и при интенсивных

троганиях самосвала доля слагаемого  $M_{pi}/a$  может достигать 10-25% веса груза. При этом на подъемах большой крутизны следует ожидать максимальных ошибок в оценках веса груза, вследствие, например, не учета влияния углов подъемов-спусков дороги (1). Поэтому разработанный алгоритм работы СКЗ предусматривает непрерывный анализ процесса  $M_{pi}$  при движении самосвала. По результатам этого анализа выделяются "мерные" участки информационных процессов, обеспечивающие получение оценок веса груза с минимальными погрешностями.

В НТЦ БелАЗ были проведены испытания самосвала, оборудованного СКЗ, реализующей уравнение (6). Погрузка – разгрузка и испытания самосвала на полигоне БелАЗ выполнялись три раза. Использовались образцовые, поверенные по весу грузы. При испытаниях СКЗ выдавала оценки веса груза самосвала с систематическими отклонениями от истинного веса. Результаты расчётно-экспериментальных исследований показали, что причиной отклонений является специфическая особенность работы уплотнений гидропневматических цилиндров подвески. Исследования позволили определить характеристику работы уплотнений, ввести её в уравнение (6) и исключить указанные выше систематические отклонения.

В окончательном виде основное уравнение алгоритма работы СКЗ имеет вид

$$G_{2p} = \frac{1}{m} \left\{ \sum_i^m \left[ E_1 (p_{1li} + p_{1npi}) S_{n1} u_1 + E_2 (p_{2li} + p_{2npi}) S_{z1} u_2 + \frac{M_{pi}}{a} \right] \right\} - G_{сн}, \quad (7)$$

где  $E_1, E_2$  – характеристики работы уплотнений передних и задних цилиндров соответственно.

Испытания самосвала с СКЗ, реализующей уравнение (7), показали, что точность оценок веса груза самосвала находится в пределах 3%.

УДК 629.014

## **ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ КУЗОВА АВТОБУСА РАСЧЁТНЫМ МЕТОДОМ**

Дыко Г.А., Поляков В.И.

Белорусский национальный технический университет

В соответствии с Правилами № 66 ЕЭК ООН допускается проверять верхнюю часть кузова пассажирского транспортного средства на прочность посредством расчётов. Согласно названным правилам рассчитывается общая энергия удара при опрокидывании транспортного средства на бок при следующих допущениях: поперечное сечение кузова – прямоугольное,