Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. LXVII, вып. 1, 1975 г.

АВТОМАТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ВЕСА ГОРНОЙ МАССЫ В КАРЬЕРНЫХ АВТОСАМОСВАЛАХ

Доктор техн. наук *Е. С. Кричевский*,
В. А. Гардзиш

(Ленинградский горный ин-т)

При открытом способе разработки для транспортирования горной массы на карьерах любой производительности в последние годы широко используется автомобильный транспорт, в частности, большегрузные автомобили-самосвалы. Автосамосвалы БелАЗ-540, БелАЗ-548А грузоподъемностью, соответственно, 27 и 40 *т* эксплуатируются в комплексе с мощными экскаваторами, обладают большой маневренностью, хорошими эксплуатационно-скоростными качествами, невысокой требовательностью к профилю дорог и в 2—3 раза повышают производительность транспортных работ в карьерах [11].

Совершенствование управления карьерным транспортом невозможно без оперативного учета производительности автосамосвалов, которая определяется, в основном, весом транспортируемой горной массы. Этот показатель необходим для экономической оценки эффективности использования автосамосвала, оперативного контроля и управления карьерным транспортом, а также как один из информационных факторов автоматизированной системы управления технологическим процессом горного предприятия.

На большинстве карьеров (за исключением тех, где применяются стационарные взвешивающие устройства) вес транспортируемой горной массы определяется подсчетом числа рейсов автосамосвалов, для которых ориентировочно установлена средняя грузоподъемность. Такой оперативный учет несовершенен, не всегда объективен и не позволяет контролировать загрузку автосамосвалов у экскаваторов. В результате автосамосвалы работают как с недогрузкой, так и с перегрузкой.

Существующий оперативный учет веса искажает фактические результаты работы цеха технологического транспорта и горного предприятия в целом. Это усложняет финансовые расчеты и производственные взаимоотношения со смежными цехами и предприятиями. Кроме того, неправильный учет работ, выполненных по транспортированию горной массы, дезориентирует коллектив предприятия в оценке производственной деятельности и, как правило, наносит существенный материальный ущерб.

Более объективный учет требует применения автоматических взвешивающих устройств для контроля веса горной массы, транспортируемой автосамосвалами.

Взвешивающие устройства можно разделить на три существенно отличающиеся друг от друга группы: стационарные, передвижные (переносные) и встроенные [8, 9]. Использование взвешивающих устройств тесно связано с технологическими особенностями карьеров. В случае высокой интенсивности движения автосамосвалов, частого изменения расположения пунктов разгрузки и необходимости контроля загрузки автосамосвалов у экскаваторов рекомендуются встроенные системы автоматического контроля веса (САКВ) горной массы непосредственно в автосамосвалах [3, 4].

Конструктивные особенности механизма разгрузки ковша экскаватора не позволяют осуществлять дозирование автосамосвала при загрузке горной массой. Загрузка автосамосвала до номинальной грузоподъемности носит субъективный характер и всецело зависит от практического опыта машиниста экскаватора. Применение встроенных САКВ горной массы позволяет не только взвешивать транспортируемую горную массу, но также решает вопрос автоматического контроля загрузки автосамосвалов с учетом допустимых отклонений от номинальной грузоподъемности. Пределы этих отклонений зависят в основном от емкости ковша экскаватора.

При оперативном учете веса горной массы, транспортируемой автосамосвалами, с применением встроенных САКВ возможны две формы представления результатов измерения: разовый отсчет веса горной массы за один рейс автосамосвала; суммарный отсчет веса горной массы за смену (сутки). При разовом отсчете можно использовать аналоговые и цифровые измерительные приборы, при суммарном — счетные приборы (счетчики импульсов) десятичной системы счисления; приборы градуируются в тоннах. При контроле веса горной массы во время загрузки автосамосвалов, кроме измерительных приборов, необходимо применять сигнальные световые или звуковые устройства.

Таким образом, встроенные САКВ обеспечивают получение информации о весе горной массы, транспортируемой каждым автосамосвалом, и контролируют загрузку машин у экскаваторов.

Надежность, стабильность и точность встроенных САКВ горной массы тесно связана с эксплуатационно-техническими особенностями автосамосвалов БелАЗ и климатическими (окружающими) условиями. К основным факторам, характеризующим эксплуатационно-технические особенности автосамосвалов БелАЗ, относятся: колебания и вибрации, возникающие во время его движения и при погрузке горной массы; бортовые источники электроэнергии; габариты кабины. При рассмотрении климатических условий окружающей среды следует обратить внимание на температуру окружающего воздуха, воздуха в кабине автосамосвала, а также на влажность воздуха, наличие пыли, атмосферное давление.

В последние годы разработке и созданию стационарных и передвижных (переносных) взвешивающих устройств для движущихся транспортных объектов уделялось большое внимание. В ряде случаев преимущества этих устройств по сравнению с встроенными очевидны. Разработка встроенных в автосамосвалы САКВ горной массы из-за недостатка изученности теоретической стороны вопроса и встретившихся технических трудностей носила эпизодический характер и, как правило, не доводилась до промышленных образцов.

В СССР над созданием встроенных САКВ горной массы в течение ряда лет работали многие организации: Научно-исследовательский и конструкторский институт испытательных машин, приборов и средств измерения масс (НИКИМП, Москва); Особое конструкторское бюро средств измерения масс (ОКБ СИМ, Одесса); Государственный научно-исследовательский институт горнохимического сырья (ГИГХС, Моск-

ва); Центральный научно-исследовательский институт транспортного строительства (ЦНИИС Минтрансстроя, Москва); производственное объединение «Союзцветметремонт» (Москва); Киевский институт автоматики. Судя по литературным источникам, за рубежом также создаются встроенные САКВ горной массы для автосамосвалов.

Методы контроля веса встроенными САКВ горной массы тесно связаны с конструктивными особенностями большегрузных автосамосвалов БелАЗ и возможными вариантами установки датчиков веса в точках опоры, воспринимающих вес погруженной горной массы. Анализируя эти взаимосвязанные особенности и учитывая реальные технические возможности, можно предложить для встроенных автоматических систем следующие методы контроля веса горной массы в автосамосвалах:

1) измерение усилий в точках опоры платформы (кузова) автосамосвала на его раму;

2) измерение давления масла в цилиндрах гидравлического механизма подъема платформы автосамосвала в начальный момент разгрузки;

3) измерение давления газа (азот или воздух) в верхних полостях цилиндров пневмогидравлической подвески автосамосвала [5].

В настоящей статье рассматривается только третий метод и дается его теоретическое обоснование.

Подвеска автосамосвалов БелАЗ представляет собой пневматические рессоры поршневого типа в комбинации с гидравлическими амортизаторами. Упругим рабочим телом в цилиндре пневмогидравлической подвески является сжатый газ (азот), причем сжатие обеспечивает эффект подрессоривания. Цилиндры подвески воспринимают только вертикальные нагрузки.

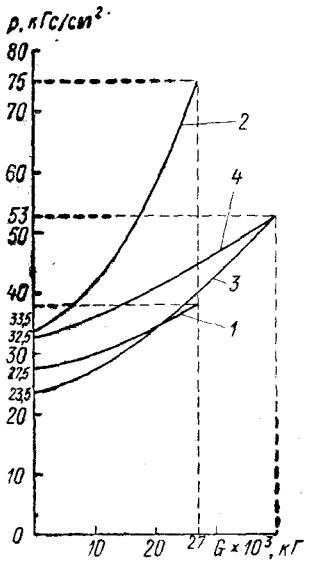


Рис. 1. Давление в верхних полостях пневмогидроцилиндров подвески автосамосвалов БелАЗ в зависимости от веса горной массы:

1 и *4* — передние цилиндры, соответственно, БелАЗ-540 и БелАЗ-548А; *2* и *3* — задние цилиндры; соответственно, БелАЗ-540 и БелАЗ-548А

Подвеска подрессоренной массы автосамосвала выполнена на четырех (БелАЗ-540) или шести (БелАЗ-548А) пневмогидравлических цилиндрах. Передняя подвеска состоит из двух цилиндров, а задняя или из двух цилиндров (БелАЗ-540) или из четырех (БелАЗ-548А).

При загрузке автосамосвала давление p в верхних полостях цилиндров пневмогидроподвески возрастает с увеличением веса горной массы G [11]. Нелинейность характеристик объясняется переменной жесткостью пневмогидроцилиндров подвески автосамосвала (рис. 1). Вес подрессоренной массы автосамосвалов не учитывается.

Для измерения давления в верхних полостях пневмогидроцилиндров можно использовать манометрические датчики, в которых давление преобразуется в усилие мембраной. Перемещение мембраны может восприниматься резистивным элементом. Изменение сопротивления этого элемента преобразуется в ток или напряжение. Датчики должны иметь идентичные характеристики.

Подключить датчик давления можно через штуцер верхней полости цилиндра, предназначенный для зарядки ее газом. Установка датчиков не связана с изменением конструкции узлов автосамосвала.

Этот метод позволяет контролировать

вес горной массы как при загрузке, так и при разгрузке автосамосвала.

В литературе [8, 9] дана подробная и исчерпывающая классификация в основном стационарных взвешивающих устройств. Учитывая особенности измерения усилий или давлений в местах установки датчиков веса, а также воспроизведение результатов измерения веса выходными приборами, авторы предлагают классификацию встроенных САКВ горной массы в большегрузных автосамосвалах БелАЗ (рис. 2).

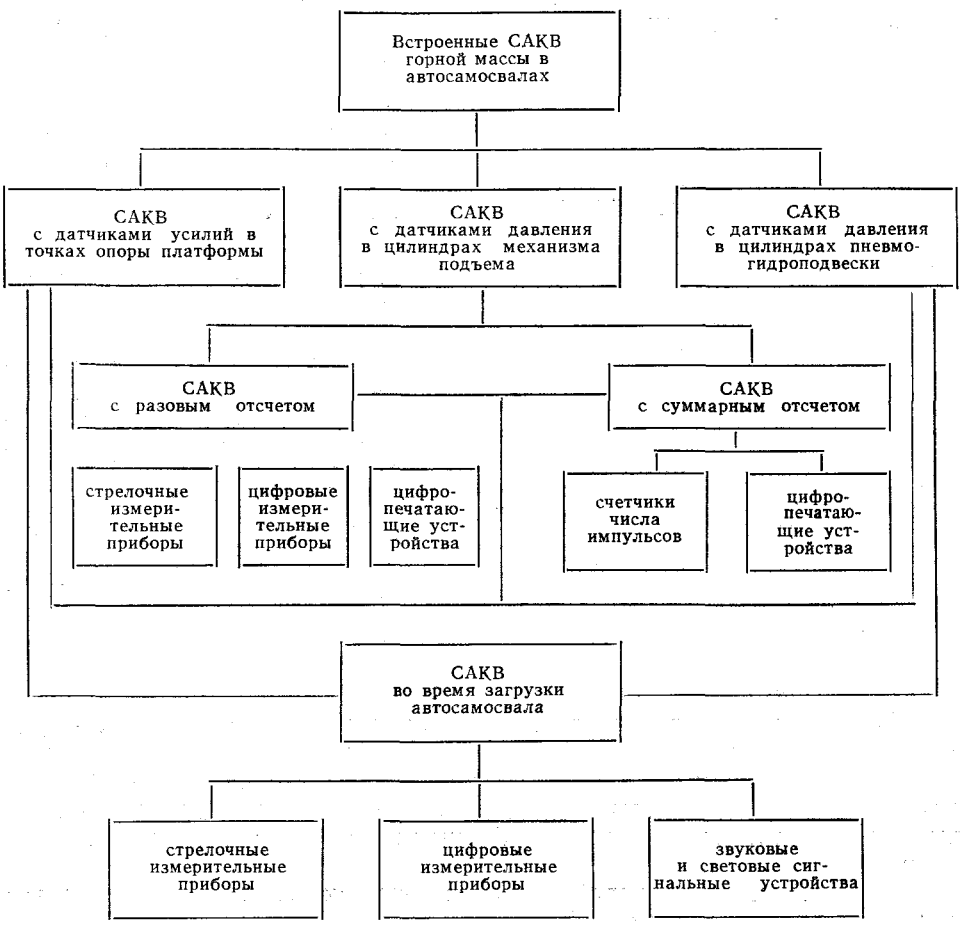


Рис. 2. Классификация встроенных САКВ горной массы в большегрузных автосамосвалах БелАЗ

Структурные схемы встроенных САКВ горной массы (рис. 3), в которых за основу принят третий метод контроля веса горной массы в автосамосвалах, представлены тремя разновидностями: с разовым отсчетом (рис. 3, *а*), с суммарным отсчетом (рис. 3, *б*) и для контроля веса во время загрузки автосамосвала у экскаватора (рис. 3, *в*). Во всех схемах сигналы от датчиков давления с электрическим выходом *ДДЭ* суммируются в блоках суммирования сигналов *БСС*. При разовом отсчете сигналы с блока *БСС* поступают на измерительный прибор *ИП* (градуируется в тоннах). При использовании цифрового прибора для его питания применяется преобразователь напряжения *ПН* постоянного тока (см. рис. 3, *а*) в переменный. Питание осуществляется от аккумуляторной батареи *Б* через стабилизатор напряжения *СН*.

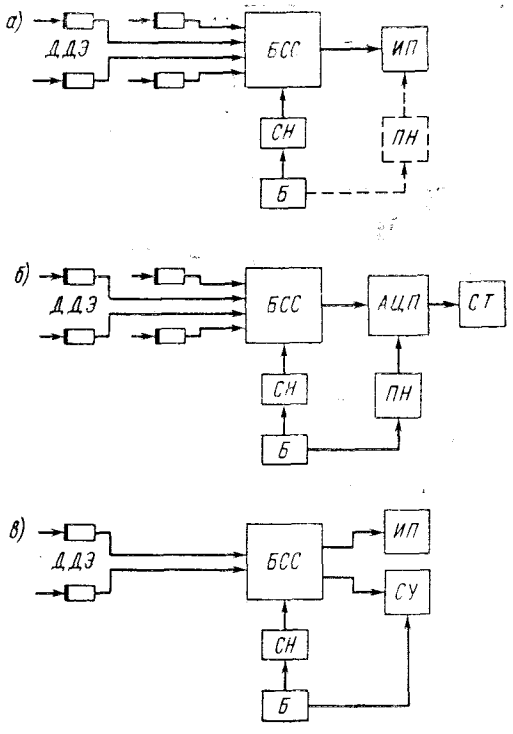


Рис. 3. Структурные схемы встроенных САКВ горной массы в автосамосвалах

При суммарном отсчете непрерывный сигнал с блока *БСС* преобразуется аналого-цифровым преобразователем *АЦП* в дискретный, а затем поступает на счетчик *СТ* (градуируется в тоннах).

В случае контроля веса во время загрузки автосамосвала сигналы от датчиков *ДДЭ* через блок *БСС* поступают на прибор *ИП* (информация водителю о весе горной массы) и сигнальное устройство *СУ* (информация машинисту экскаватора об окончании загрузки).

Пневмогидравлические подвески подробно рассмотрены в литературе [6, 7, 10, 11].

Для исследования закономерности изменения давления в верхней полости цилиндра пневмогидравлической подвески автосамосвала в зависимости от приложенного усилия воспользуемся уравнением статической характеристики пневматического упругого элемента с противодавлением [6, 10]

$$G_{\text{у. э}} = F(p_{\text{в}} - p_{\text{а}}) - f(p_{\text{н}} - p_{\text{а}}) = Fp_{\text{в}} - fp_{\text{н}} - (F - f)\,p_{\text{а}}, \qquad (1)$$

где $G_{\text{у. э}}$ — усилие, воздействующее на упругий элемент, *кг*; $p_{\text{а}}$ — атмосферное давление, *кгс/см*^{2}; $p_{\text{в}}$, $p_{\text{н}}$ — абсолютное давление, соответственно, в основном цилиндре (верхняя полость) и цилиндре противодавления (нижняя полость), *кгс/см*^{2}; F, f — площадь поперечного сечения, соответственно, основного цилиндра и цилиндра противодавления, *см*^{2}.

Для начальных условий, соответствующих номинальной загрузке автосамосвала, уравнение (1) принимает вид

$$G_{\text{у. э}_0} = Fp_{\text{в}_0} - fp_{\text{н}_0} - (F - f)\,p_{\text{а}}, \qquad (2)$$

где $p_{\text{в}_0}$ и $p_{\text{н}_0}$ — начальное абсолютное давление, соответственно, в основном цилиндре и цилиндре противодавления, *кгс/см*^{2}.

В реальных условиях работы пневматического упругого элемента в различных режимах, когда при изменении состояния газа неизбежно происходит некоторый теплообмен с окружающей средой, состояние газа изменяется по политропе, т. е. показатель политропы n для двухатомных газов может принимать значения от 1 до 1,4.

В общем случае давление $p_{\text{в}}$ в верхней (основной) полости цилиндра подвески изменяется по закону

$$p_{\text{в}} = p_{\text{в}_0}\left(\frac{V_{\text{в}_0}}{V_{\text{в}}}\right)^n = p_{\text{в}_0}\left(\frac{V_{\text{в}_0}}{V_{\text{в}_0} + \Delta V_{\text{в}}}\right)^n =$$

$$= p_{в_0} \frac{1}{\left(1+\frac{\Delta V_в}{V_{в_0}}\right)^n} = p_{в_0} \frac{1}{\left(1+\frac{Fs}{V_{в_0}}\right)^n} = p_{в_0} \frac{1}{\left(1+\frac{s}{h_{в_0}}\right)}, \qquad (3)$$

где $V_в$ — объем газа в верхней полости, $см^3$; $V_{в_0}$ — начальный объем газа в верхней полости, $см^3$; s — ход поршня от начального положения, $см$; $\Delta V_в$ — изменение объема $V_в$, соответствующее ходу s, $\Delta V_в = Fs$, $см^3$; $h_{в_0}$ — начальная высота столба газа в верхней полости, $h_{в_0} = \frac{V_{в_0}}{F}$, $см$.

Полагая, что в верхней и нижней полостях цилиндра подвески процессы протекают по одному и тому же закону, можно для давления $p_н$ в нижней полости (противодавления) цилиндра подвески аналогично написать

$$p_н = p_{н_0}\left(\frac{V_{н_0}}{V_н}\right)^n = p_{н_0}\left(\frac{V_{н_0}}{V_{н_0}-\Delta V_н}\right)^n =$$

$$= p_{н_0} \frac{1}{\left(1-\frac{\Delta V_н}{V_{н_0}}\right)^n} = p_{н_0} \frac{1}{\left(1-\frac{fs}{V_{н_0}}\right)^n} = p_{н_0} \frac{1}{\left(1-\frac{s}{h_{н_0}}\right)^n}. \qquad (4)$$

Подставив выражения (3) и (4) в уравнение (1), получим уравнение статической характеристики пневматического упругого элемента с противодавлением

$$G_{у.э} = F \frac{p_{в_0}}{\left(1+\frac{s}{h_{в_0}}\right)^n} - f \frac{p_{н_0}}{\left(1-\frac{s}{h_{н_0}}\right)^n} - (F-f)p_а. \qquad (5)$$

В уравнениях (1) и (5) представлена известная зависимость $G_{у.э} = f(p_в, p_н)$. Учитывая принятый метод автоматического контроля веса горной массы [5], необходимо найти зависимость $G_{у.э} = f(p_в)$, причем такую форму записи, в которую не входило бы в явном виде давление $p_н$ при воздействии нагрузки на упругий элемент.

Так как давления $p_в$ и $p_н$ достигают сравнительно больших значений (несколько десятков атмосфер), атмосферным давлением $p_а$ можно пренебречь.

Тогда уравнения (1) и (5), соответственно, примут вид

$$G_{у.э} = Fp_в - fp_н; \qquad (6)$$

$$G_{у.э} = F \frac{p_{в_0}}{\left(1+\frac{s}{h_{в_0}}\right)^n} - f \frac{p_{н_0}}{\left(1-\frac{s}{h_{н_0}}\right)^n}. \qquad (7)$$

Рассмотрим зависимости давлений $p_в$ и $p_н$

$$p_в = \frac{p_{в_0}}{\left(1+\frac{s}{h_{в_0}}\right)^n} \quad \text{и} \quad p_н = \frac{p_{н_0}}{\left(1-\frac{s}{h_{н_0}}\right)^n}.$$

Преобразуем их следующим образом:

$$1+\frac{s}{h_{в_0}} = \left(\frac{p_{в_0}}{p_в}\right)^{\frac{1}{n}} \quad \text{и} \quad 1-\frac{s}{h_{н_0}} = \left(\frac{p_{н_0}}{p_н}\right)^{\frac{1}{n}};$$

$$s = -h_{в_0}\left[1-\left(\frac{p_{в_0}}{p_в}\right)^{\frac{1}{n}}\right] \text{ и } s = h_{н_0}\left[1-\left(\frac{p_{н_0}}{p_н}\right)^{\frac{1}{n}}\right]. \quad (8)$$

Так как левые части выражений (8) равны, то

$$-h_{в_0}\left[1-\left(\frac{p_{в_0}}{p_в}\right)^{\frac{1}{n}}\right] = h_{н_0}\left[1-\left(\frac{p_{н_0}}{p_н}\right)^{\frac{1}{n}}\right]. \quad (9)$$

Из выражения (9)

$$p_в = \frac{p_{в_0}}{\left\{\frac{h_{н_0}}{h_{в_0}}\left[1-\left(\frac{p_{н_0}}{p_н}\right)^{\frac{1}{n}}\right]+1\right\}^n}; \quad (10)$$

$$p_н = \frac{p_{н_0}}{\left\{\frac{h_{в_0}}{h_{н_0}}\left[1-\left(\frac{p_{в_0}}{p_в}\right)^{\frac{1}{n}}\right]+1\right\}^n}. \quad (11)$$

Подставляя $p_н$ из выражения (11) в (6), получаем уравнение статической характеристики пневматического упругого элемента искомой зависимости $G_{у.э}=f(p_в)$ без учета атмосферного давления

$$G_{у.э} = Fp_в - f\frac{p_{н_0}}{\left\{\frac{h_{в_0}}{h_{н_0}}\left[1-\left(\frac{p_{в_0}}{p_в}\right)^{\frac{1}{n}}\right]+1\right\}^n}. \quad (12)$$

Если процесс в цилиндре подвески считать изотермным ($n=1$), полагая, что во время операции автоматического контроля веса горной массы в автосамосвале он протекает достаточно медленно, получим уравнения (7) и (12) в следующем виде:

$$G_{у.э} = F\frac{p_{в_0}}{1+\frac{s}{h_{в_0}}} - f\frac{p_{н_0}}{1-\frac{s}{h_{н_0}}}; \quad (13)$$

$$G_{у.э} = Fp_в - f\frac{p_{н_0}}{\frac{h_{в_0}}{h_{н_0}}\left(1-\frac{p_{в_0}}{p_в}\right)+1}. \quad (14)$$

Основные параметры цилиндров пневмогидроподвески автосамосвалов БелАЗ следующие *:

Автосамосвал	БелАЗ-540	БелАЗ-548А
F, $см^2$	213,5 / 213,5	213,5 / 213,5
f, $см^2$	76,7 / 76,7	76,7 / 76,7
$p_{в_0}$, $кгс/см^2$	38,0 / 75,0	53,0 / 53,0
$p_{н_0}$, $кгс/см^2$	17,5 / 24,0	19,0 / 19,0
$h_{в_0}$, $см$	11,0 / 10,0	10,0 / 10,0
$h_{н_0}$, $см$	16,0 / 25,0	25,0 / 25,0

* В числителе значения для переднего цилиндра подвески, в знаменателе — для заднего.

Подставляя указанные параметры в формулу (14), получим уравнения статических характеристик цилиндров подвески автосамосвалов.

1. Передние цилиндры подвески

а) БелАЗ-540

$$G_{у.\,э} = 213{,}5p_в - \frac{21476}{27 - \dfrac{418}{p_в}}; \qquad (15)$$

б) БелАЗ-548А

$$G_{у.\,э} = 213{,}5p_в - \frac{36432{,}5}{35 - \dfrac{530}{p_в}}. \qquad (16)$$

2. Задние цилиндры подвески

а) БелАЗ-540

$$G_{у.\,э} = 213{,}5p_в - \frac{46020}{35 - \dfrac{750}{p_в}}; \qquad (17)$$

б) БелАЗ-548А

$$G_{у.\,э} = 213{,}5p_в - \frac{36432{,}5}{35 - \dfrac{530}{p_в}}. \qquad (18)$$

По уравнениям (15), (16), (17), (18) были рассчитаны индивидуальные статические характеристики цилиндров подвесок автосамосвалов БелАЗ (рис. 4).

В качестве датчиков для измерения давления в верхних полостях цилиндров пневмогидроподвески автосамосвалов БелАЗ предложены мембранные электромеханические датчики серии Д [1] с потенциометрическим преобразователем на выходе и диапазонами измерения 0—150, 0—220 *кгс/см*^{2}. В дальнейшем предполагается использовать более надежные бесконтактные датчики давления с магниторезистивным выходом. Максимальное давление в верхних полостях задних цилиндров пневмогидроподвески автосамосвалов достигает 200 *кгс/см*^{2} (БелАЗ-540) и 140 *кгс/см*^{2} (БелАЗ-548А).

Датчики давления должны иметь идентичные характеристики изменения тока I в диагонали измерительного моста в зависимости от давления p. Как видно из графика (рис. 5), характеристика $I=f(p)$ в рабочей зоне давлений имеет зависимость, близкую к линейной. При суммировании сигналов, поступающих от нескольких датчиков, их потенциометры включаются последовательно.

Для снятия градуировочных характеристик тока I (или напряжения U) в диагонали измерительного моста в зависимости от веса груза G на автосамосвалах БелАЗ разработаны два макета встроенных САКВ с учетом двух вариантов установки датчиков (таблица). Макеты позволяют снимать градуировочные характеристики при одном и том же весе груза и одинаковом расположении его на платформе автосамосвалов.

На рис. 6 представлена упрощенная (без переключателя числа датчиков) принципиальная электрическая схема макета встроенной САКВ на четыре датчика. Сигналы датчиков давлений суммируются в одном из плеч мостовой схемы. Одна из диагоналей моста питается

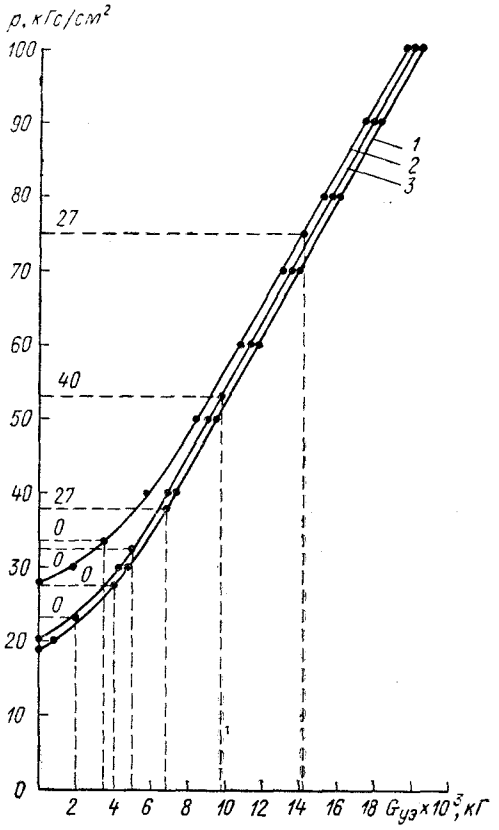


Рис. 4. Расчетные статические характеристики цилиндров подвесок автосамосвалов БелАЗ:

1 и *2* — соответственно, передний и задний цилиндры БелАЗ-540; *3* — передний и задний цилиндры БелАЗ-548А; пунктирные линии и соответствующие им цифры характеризуют нулевой и номинальный вес горной массы в тоннах

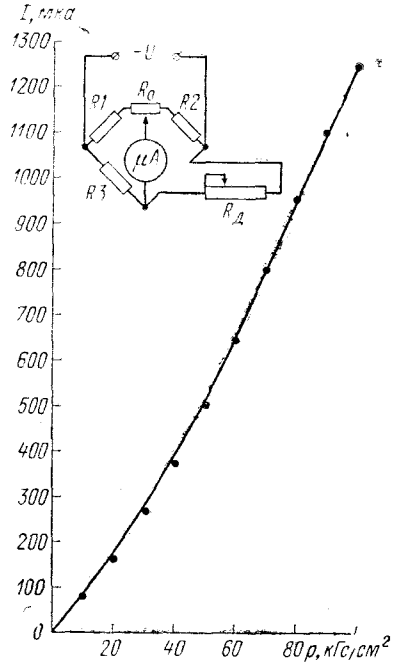


Рис. 5. Характеристика $I = f(p)$ датчика давления типа Д

от батареи аккумуляторов через стабилизатор напряжения. В другую диагональ моста включен микроамперметр.

На соответствующих макетах встроенной САКВ снято более двадцати градуировочных характеристик. Одна из них для автосамосвала БелАЗ-540 приведена на рис. 7. Сплошные линии характеристик соответствуют загрузке (прямому ходу) автосамосвала градуировочным грузом, а пунктирные — разгрузке (обратному ходу). Из приведенных графиков видно, что гистерезисные явления при градуировке даже на неподвижном автосамосвале незначительны (стрелка измерительного прибора после полной разгрузки автосамосвала возвращалась в нулевое положение).

Возможные варианты установки датчиков давления на автосамосвалах БелАЗ

Вариант	Количество датчиков давления на автосамосвале			
	БелАЗ-540		БелАЗ-548А	
	Передняя подвеска	Задняя подвеска	Передняя подвеска	Задняя подвеска
1	2	2	2	4
2	—	2	—	4

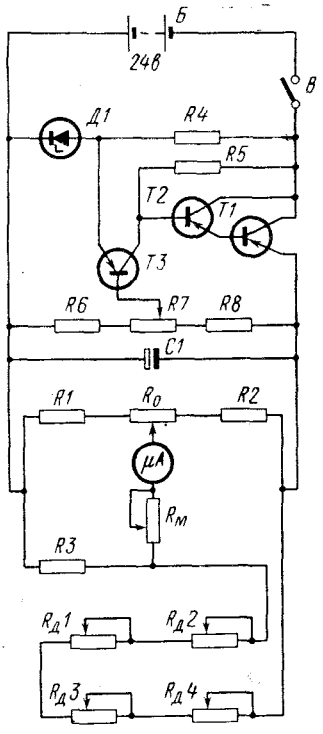


Рис. 6. Принципиальная электрическая схема макета встроенной САКВ для снятия градуировочных характеристик

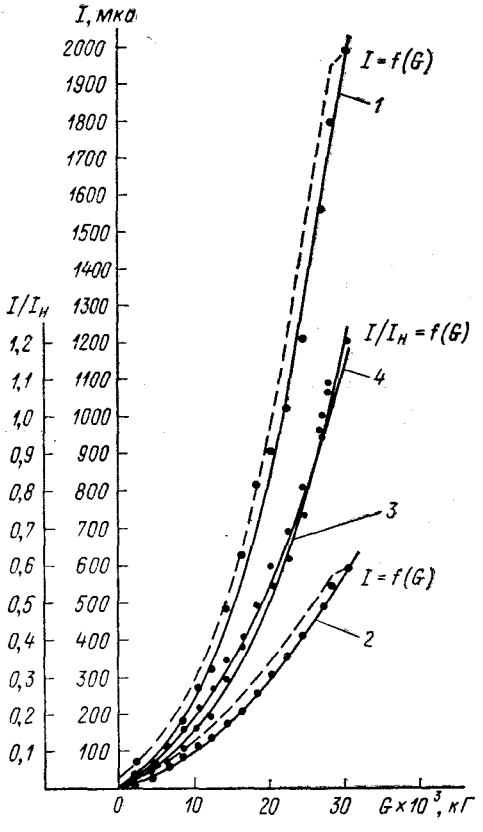


Рис. 7. Градуировочные характеристики зависимостей $I=f(G)$ и $\frac{I}{I_н}=f(G)$

1 и *3* — с двумя датчиками; *2* и *4* — с четырьмя датчиками

При сопоставлении градуировочных характеристик (на двух или четырех потенциометрах датчиков давления) для всех замеров было вычислено отношение текущего значения I к номинальному $I_н$ (рис. 7), соответствующему весу груза 27 *т* ($I_н=1655$ *мка* — для двух датчиков, $I_н=505$ *мка* — для четырех датчиков).

По предварительным результатам статистической обработки градуировочных данных установлена достаточно тесная корреляция между выходным сигналом прибора макета встроенной САКВ и весом градуировочного груза. Коэффициент корреляции равен 0,95, а его среднее квадратическое отклонение составило 0,01.

При сравнении расчетных статических характеристик цилиндров пневмогидроподвески автосамосвала БелАЗ-540 (см. рис. 4) с экспериментальными (см. рис. 7) наблюдается одна и та же закономерность.

Макеты встроенных САКВ горной массы с разовым отсчетом испытывались в производственных условиях Центрального рудника комбината «Апатит» и рудника «Железный» Ковдорского горнообогатительного комбината. Опытная эксплуатация макетов САКВ на автосамосвалах БелАЗ-540 и БелАЗ-548А доказала их работоспособность, выявила отсутствие гистерезисных явлений, подтвердила достаточную воспроизводимость результатов измерения. По предварительным данным, максимальная относительная погрешность измерений веса горной массы не превышает ±3%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Боднер В. А. Авиационные приборы. Машиностроение, 1969.
2. Великанов Д. П. Эффективность автомобиля. Транспорт, 1969.
3. Гардзиш В. А. и др. Взвешивание горной массы непосредственно в большегрузных автосамосвалах. Зап. ЛГИ, т. 63, вып. 1, 1971.
4. Гардзиш В. А. Автоматический контроль веса горной массы в большегрузных автосамосвалах. Краткие тезисы докладов конференции «Совершенствование методов проектирования открытых горных работ». НТО горное, Л., 1972.
5. Гардзиш В. А. и др. Устройство для автоматического взвешивания. Авт. свид. № 336529. Бюлл. «Открытия, изобретения, промышленные образцы, товарные знаки», № 14, 1972.
6. Добрых Л. И. Подвеска автомобилей-самосвалов Белорусского автозавода. Автомобильная промышленность, № 9, 1964.
7. Дербаремдикер А. Д. К теории рабочего процесса пневмогидравлических устройств подвески. Автомобильная промышленность, № 9, 1965.
8. Карпин Е. Б. Расчет и конструирование весоизмерительных механизмов и дозаторов. Машгиз, 1963.
9. Карпин Е. Б. Средства автоматизации для измерения и дозирования массы. Расчет и конструирование. Машиностроение, 1971.
10. Певзнер Я. М., Горелик А. М. Пневматические и гидропневматические подвески. Машгиз, 1963.
11. Сироткин З. Л. и др. Автомобили БелАЗ. Транспорт, 1969.