

# Измерване на теглото на товара на руднични самосвали

**Stiliyan Stankow** NOAC EOOD, Sofia, *e-mail: [stan@noac.biz](mailto:stan@noac.biz)*  
**Galın Vayov** NOAC EOOD, Sofia, *e-mail: [galin@noac.biz](mailto:galin@noac.biz)*

**Резюме:** с внедряването на GPS диспечерски системи в последните две десетилетия се получават много точни данни за времената и изминатите разстояния. За пълна картина и управление на товарния и транспортния процес е необходимо да се получат също толкова точни данни и за натоварването с минни маси. В повечето случаи определянето става със статистически методи, чрез използване на средното натоварване и реализираните курсове. В статията са описани устройството, математическият модел, проблемите при реализацията и получените резултати от инсталирането на кантарни устройства на руднични самосвали, работещи в реално време, включително по време на натоварването.

## Measuring the weight of the load of career dumpers

**Resume:** Using GPS dispatch systems in the past two decades was obtained very accurate data on the times and distances covered. For a complete picture of loading and transportation it is necessary to obtain as accurate data of weight of mine masses. In most cases it is calculated with statistical methods, using the average load and realized haulages. The article describes the design, the mathematical model, the implementation problems and the results, obtained by installing scales on dump trucks working in real time, including during loading.

---

## 1. Задачи на претеглянето

Задачите, които се решават с автомобилните везни, според честотата на срещане от авторите в различните рудници. Подредени са според приблизителната важност за ръководителите и минните инженери.

1. контрол на недонатоварване и претоварването на самосвалите
2. отчет на производството на рудника. За отчитането на откривката няма друг начин, освен в тонове. Обемът на откривката може да се измери и преди, и след изкопаването, но специфичното тегло варира значително. Измерването на теглото на откривката и рудата помага на маркшайдерите при „инкременталните“ замери и контрола на точността
3. отчет на производителността на операторите
4. отчет на производителността на машините - багери, самосвали, ЧТ
5. дозиране при експедиция
6. определяне на броя на курсовете
7. създаване на реалистични норми за натоварване
8. създаване на многомерни модели за контрол на разхода на горивото
9. контрол на амортизьорите

---

## 2. Типове везни

Предложени са и са внедрени различни начини за измерване на теглото на товара на рудничните самосвали. Изброени са според честотата на срещане в различните рудници.

1. бордов кантар, който измерва налягането в повдигача на коша на самосвала – най-често срещан. Има предимство пред кантара на амортизьорите за по-лесен монтаж и поддържане, тъй като използва само един датчик за налягане, вместо 4. Недостатък е, че резултатът се получава чак при разтоварването, без да се дава информация на багериста по време на натоварването
2. бордов кантар, който измерва налягането на амортизьорите. Най-често срещана схема, с най-точно измерване. Вариантът е труден за монтиране и поддръжка. Позволява контрол на натоварването, контрол за изправността на амортизьорите, контрол за качеството на пътя, откриване на полепнали маси и други допълнителни полезни функции.
3. кантар на челния товарач – често се използва при дозиране на фракции на продукти.
4. кантар на багера. Монтирането е много трудно, трудна е и поддръжката. Алгоритъмът на изчисление е свършено различно за въжените и хидравличните багери. Проблематично е

измерването при възжените багери и драглайните. при хидравличните е малко по-лесно и по-точно. Рядко се използва челен товарач за товарене на тежки самосвали.

5. платформена везна. Скъпо решение. Почти не се среща за самосвали над 40 t. Не може да контролира натоварването. Води до удължаване на пътя и времето на курса
6. лентови кантари в приемния бункер на първичната трошачка. Трудно се разделят отделните самосвали, трудно се контролира натоварването или претоварването. Точността на измерване е ниска, част от материала остава по стените на бункера. Не може да се използва за натоварване на другите рудни маси освен при полезното изкопаемо. Може да се използва за контрол на бордовите везни.

Везни на амортизьорите се предлагат от много производители – Белаз, Caterpillar, Komatsu, Hitachi. Фирмени везни:

1. имат трудна поддръжка
2. имат различен формат на данните
3. рядко се среща отдалечен достъп до данните
4. имат различни процедури за тариране, ако има такива
5. опционални са и рядко се доставят при първоначалната поръчка на машината

В повечето фирмени решения индикацията от везната към багериста е с лампи, които се запалват при достигане на някакво контролно ниво. Недостатъкът на това решение е еднократното настройване на предела за натоварване. Обикновено контролните нива са до 95%, от 95% до 105% и над 105%.

Дадената за пример в статията везна за минен самосвал има следните предимства

1. може да измерва и когато самосвалът е застанал под наклон
2. има отдалечено предаване на данни, с регистрация при водача, багериста и диспечера
3. показва на багериста текущото натоварено тегло, в реално време на страничен дисплей
4. позволява визуален контрол на натоварването от страна на ръководителите – без нужда от компютри, таблети и др.
5. позволява контрол на изправността на амортизьорите
6. позволява дозиране на последната кофа

---

### 3. Математически модел на самосвала

---

Уравнението на вертикалните реакции на амортизьорите (пружинен модел) включва уравнението:

$$\begin{aligned} 2 \cdot R_f + 2 \cdot R_z &= G + G_p & (1) \\ k_p \cdot S_p + k_z \cdot S_z &= G + G_p \\ G &= k_p \cdot S_p + k_z \cdot S_z - G_p \end{aligned}$$

Реакцията на двата моста уравновесява силата на теглото на товара и собственото тегло на надресорните маси. Приема се, че двата моста са уравновесени, амортизьорите от един мост са еднакви и сумата на реакциите на амортизьорите от всеки мост се запазва при наклон по надлъжната ос.

#### 3.1 Променливи на модела

$G_p$	теглото на надресорните маси, t
$R_f$	реакция на предния амортизьор, N. Насочена е перпендикулярно на земната повърхност.
$R_z$	реакция на задния амортизьор, N
$S_p$	сума от наляганията в предните амортизьори, измерваем параметър, bar
$S_z$	сума от наляганията в задните амортизьори, измерваем параметър, bar
$G_i$	измерено тегло по „пружинния модел“, t. Само от реакциите на амортизьорите. Без въведена корекция за ъгъла на наклона
$G$	измерено тегло, с корекция за наклона
$\alpha$	ъгъл между шасито и хоризонта. Измерва се от инклинометъра, градуси
$l_z$	рамо на реакцията на амортизьора спрямо началото на координатната система (ЦТ на самосвала), m. Виртуална точка, определена от лостовата система на задния мост.
$l_p$	рамо на предния амортизьор, m. Счита се, че е точно над оста на предния мост поради конструктивното изпълнение.
$l_t$	рамо на товара, m
$M_t$	момент на товара, тон-метра

Mf	момент на предните амортисьори, tm
Mr	момент на задните амортисьори, tm
kp	коефициент на предните амортисьори – зависимостта на реакцията на амортисьора от налягането в него, t/m <sup>2</sup> . Счита се за линейна. Пропорционален е на сечението на амортисьора минус сечението на шока. Има времева зависимост. Напълно се установява около 10 s след спиране или потегляне. Пренебрегнато е триенето
kz	коефициент на задните амортисьори. Приведена стойност, определена от лостовата система на задния мост.

### 3.2 Уравнение на баланса на моментите по надлъжната ос

Уравнението (1) е валидно само при заставане на самосвала на равна площадка. За съжаление това условие почти винаги се нарушава в сложните условия на забоя. В системата трябва да се отчете ъгъла на наклона. Наклонът се измерва с включен към бордовия компютър (везната) инклинометър. Измерва се наклонът на шасито на самосвала спрямо хоризонта. Уравнението се получава от равенството на завъртащите моменти.

$$\begin{aligned}
 M_f + M_t &= M_r & (2) \\
 R_f * l_p + G * l_t &= R_r * l_z \\
 R_f * l_p + G * (c * G + d) * \cos((a * G + b) - \alpha) &= R_r * l_z \\
 k_p * S_p * l_p + G * (c * G + d) * \cos((a * G + b) - \alpha) &= k_z * S_z * l_z
 \end{aligned}$$

### 3.3 Система уравнения

Системата уравнения, която се получава е:

$$\begin{aligned}
 k_p * S_p + k_z * S_z - G - G_p &= 0 & (3) \\
 G * (c * G + d) * \cos((a * G + b) - \alpha) + k_p * S_p * l_p - k_z * S_z * (l_o - l_p) &= 0
 \end{aligned}$$

Неизвестната, спрямо която се решава е G – теглото на товара.

Променливи в уравнението са Sp, Sz, α – налягането в амортисьорите и ъгълът на наклона. Коефициенти в уравнението са lp, lz, kp, kz, a, b, c, d, Gp. Определянето на коефициентите става чрез регресия.

### 3.4 Линейно приближение

Системата уравнения (3) е нелинейна, с тригонометрични функции. Решаването и' може да става по метода на последователните приближения с многократно изчисление на тригонометрични функции. Микропроцесорът трябва да я решава около 10 пъти в секунда, което почти напълно го натоварва. За опростяване на изчисленията може да се използва приблизителна линейна формула:

$$G = a * \alpha * G_i + b * G_i + c * \alpha + d \quad (4)$$

Коефициентите се определят с регресионен анализ. Едно решение, за самосвал Komatsu HD405 е например:

$$\begin{aligned}
 G_p &= 32.38000 \\
 k_p &= 0.26600 \quad k_z = 0.23900 \\
 a &= 0.01295 \quad b = 1.00256 \quad c = 0.32862 \quad d = 0.76812
 \end{aligned}$$

Друго решение, като при това се намират и коефициентите kp и kz:

$$\begin{aligned}
 G_p &= 30.38017 & k_p &= 0.17698 & k_z &= 0.27460 \\
 a &= 0.00880 & b &= 1.01032 & c &= 0.15980 & d &= 3.99950
 \end{aligned}$$

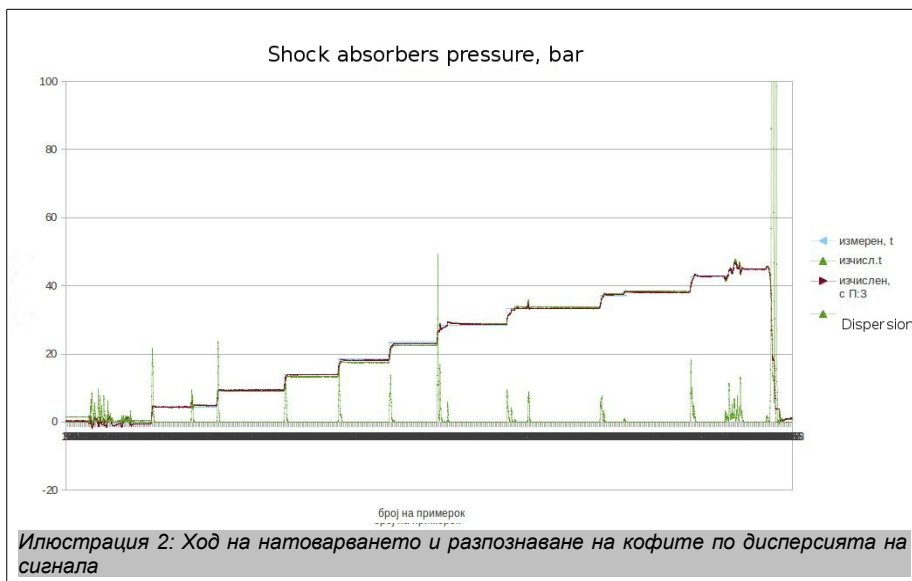
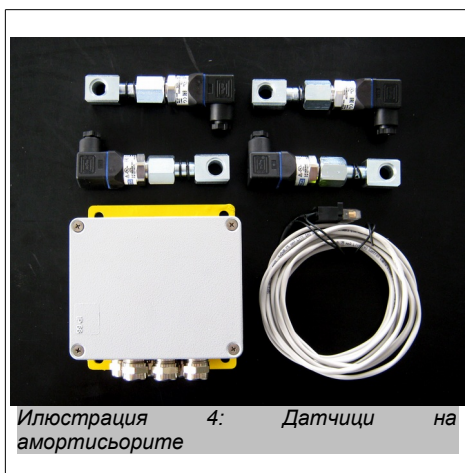
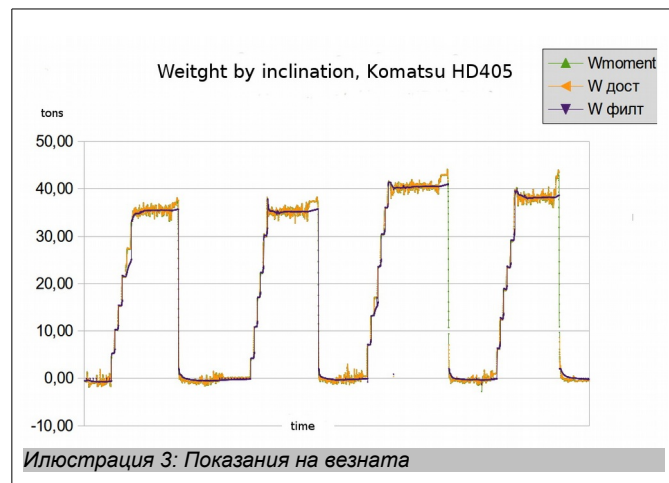
### 3.5 Квадратично приближение

Още по-добри резултати дава квадратичното приближение. Коефициентите се намират с регресионен анализ от данните при скорост 0.0 - самосвалът е в покой, но разположен под различен наклон. Отхвърлен е свободният член, който се поема от стойността на Gi

$$G = e * G_i * G_i + f * \alpha * \alpha + a * \alpha * G_i + b * G_i + c * \alpha$$

Ъгълът α се задава в '%'. Примерни коефициенти на полинома за машина Komatsu HD405:

$$\begin{aligned}
 e &= 0.0003241 \\
 f &= 0.0059584 \\
 a &= 0.0081838 \\
 b &= 0.9946782 \\
 c &= 0.1636173
 \end{aligned}$$



## 4. Реализация

Описаният модел е реализиран в бордова везна, инсталирана на самосвали типове Komatsu HD405 и Caterpillar 771D. Използвани са бордовите компютри на диспечерската система. Добавени са датчици за налягане на амортизьорите и страничен дисплей.

В зависимост от състоянието на самосвала – натоварване, движение, престой страничният дисплей показва и някои допълнителни данни - текущото тегло, возеният товар, средна скорост на движение, времето за чакане. Допълнително при престой се извеждат за водача

- нивото на горивото
- напрежението на акумулатора
- състоянието (изправността) на амортизьорите и др.

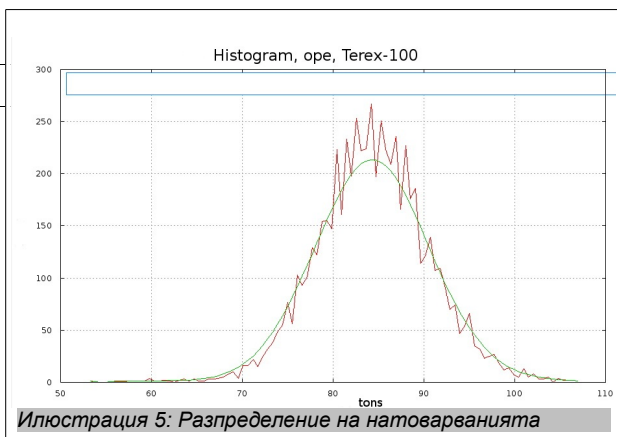
## 5. Резултати

На ил. 3 е показан сигналът от везната за 4 курса. Всяка натоварена кофа е видима. Сигналът при разтоварване е много ясен и разпознаваем.

На ил. 2 е показан ходът на натоварването и сигналът от дисперсионния филтър. Сигналът за нивото на дисперсията е много силен и се използва за разпознаване на всяка натоварена кофа.

На ил. 5 е показано разпределението на товара при разтоварването за един самосвал, минна маса руда. Разпределението е почти нормално, с опашки към високите и ниски стойности. Претоварването и недонатоварването са много вероятни. Приблизително 25% от курсовете излизат от интервала  $-10\% \pm 10\%$  от средното натоварване. Специална програма подготвя

табличен и графичен отчет за разпределението на натоварването по периоди, машини, минни маси, багеристи и водачи.



## 6. Заключение

1. При натоварването на самосвалите се получава значителен разброс
2. Разбросът в натоварването се получава преди всичко от последните, непълни или претоварени курсове, отсъствието на подходящ материал, наличието на негабарити.
3. В реални производствени условия не може да се постигне паспортното натоварване, въпреки нереалистичните очаквания и изисквания на някои ръководителите
4. Контролът на натоварването и предпазването от претоварване може да се постигне чрез вградени везни с измерване и показване в реално време.
5. Не бива да се гони паспортното натоварване, трябва да се създадат реалистични норми със средни стойности и зададен диапазон на приемливост.



Fig. 6: Показания на дисплея при натоварване. Виж видео на адрес:

<https://www.dropbox.com/s/29a6abvuu3p30i7/sgd005.avi?dl=0>