

Для упрощения поиска неисправностей газодизельного двигателя разработана компьютерная программа, позволяющая по одному или нескольким диагностическим параметрам указать оператору на причину неисправности и дать рекомендации по выполнению необходимых технических воздействий.

Разработанная система управления работоспособностью газодизельных двигателей 12ГД ЧН 26/26 внедрена в ЗАО «Радугаэнерго» и может быть рекомендована для использования на других предприятиях, эксплуатирующих газодизельные установки.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мирошников Л. В., Болдин А. П., Пал В. И. Диагностирование технического состояния автомобилей на автотранспортных предприятиях — М.: Транспорт, 1977. — 263 с.
2. Грехов Л. В., Иващенко Н. А., Марков В. А. Топливная аппаратура и системы управления дизелей. Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2002. — 376 с.
3. Зорин В. А. Основы работоспособности технических систем: учеб. для вузов — М: ООО «Магистр-Пресс», 2005. — 536 с.

629.113

## РАСЧЕТ СОПРОТИВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЮ КОЛЕСНЫХ МАШИН ПО СНЕГУ

Канд. техн. наук И.О. ДОНАТО

*Рассмотрено сопротивление движению колесных машин по снегу с учетом экскавационно-бульдозерных эффектов; сил сопротивления, обусловленных вертикальной деформацией снега и трением днища корпуса или элементов шасси о поверхность снежного полотна пути.*

*Resistance of wheel cars in motion on a snow road path in view of excavator bulldozer effects, resistance forces caused by vertical strain of snow and abrasion of the car underside or chassis elements of surface is examined*

При движении колесной машины по деформируемому грунту силу сопротивления  $P_c$  можно разделить на две составляющие

$$P_c = P'_f + P_f, \quad (1)$$

где  $P'_f$  — сила внутреннего сопротивления;  $P_f$  — сила внешнего сопротивления.

Внутреннее сопротивление включает в себя потери на внутреннее трение в стенках шины при их изгибе и выпрямлении, потери на внутреннее трение в резине протектора при ее циклическом сжатии [1].

Составляющие внешнего сопротивления [2, 3]

$$P_f = P_{fc} + P_{f\text{эб}} + P_{f\text{фр}} + P_{f\text{дн}} + P_{f\text{кр}} + P_{fa} + P_{fw}, \quad (2)$$

где  $P_{fc}$  — сила сопротивления, обусловленная деформацией снежного полотна пути колесом машины;  $P_{f\text{эб}}$  — сила сопротивления от экскавационно-бульдозерных эффектов;  $P_{f\text{фр}}$  — сила сопротивления движению от фрезерования настовой корки и внутримассивных

ледяных прослоек;  $P_{f_{дн}}$  — сила сопротивления, возникающая при погружении движителя, превышающем дорожный просвет;  $P_{f_{кр}}$  — сила сопротивления движению от крюковой нагрузки;  $P_{f_w}$  — сила сопротивления воздуха.

В целом анализ зависимостей для определения сопротивления качению при сравнении с экспериментальными данными показал, что наилучшую качественную и количественную оценку дает зависимость, предложенная в [2],

$$P_{fc} = 2b\gamma h_{\max}^2 \left( -\ln \frac{\gamma h_{\max}}{\gamma h_{\max} + q_{\max}} - \frac{q_{\max}}{\gamma h_{\max} + q_{\max}} \right), \quad (3)$$

где  $b$  — ширина колеса;  $\gamma$  — коэффициент начальной жесткости снега;  $h_{\max}$  — коэффициент, характеризующий величину деформации снега;  $q_{\max}$  — максимальное пиковое давление под колесом.

Для определения силы сопротивления  $P_{f_{эб}}$  целесообразно воспользоваться зависимостями, предложенными В. В. Беляковым,

$$P_{f_{эб}} = B \gamma h_{\max}^2 \left\{ \ln \left[ 1 + \frac{\Delta h}{h_{\max}} \left( 1 + \frac{q_{\max}}{\gamma h_{\max}} \right) \right] - \frac{\Delta h}{h_{\max}} \right\}, \quad (4)$$

где  $\Delta h$  — высота снега, выносимого из зоны контакта в межколесную область в результате экскавационно-бульдозерных эффектов.

Сила сопротивления движению от фрезерования настовой корки и внутримассивных ледяных прослоек

$$P_{f_{эб}} = 2p_{фр} H_{k1} b_k h_{гр} l_{гр}^{-1} \left( 1 + \frac{n_{сл} - 1}{n_{сл} + 1} \right) \mu_0, \quad (5)$$

где  $n_{сл}$  — число слоев в снежном массиве,  $h_{гр} l_{гр}^{-1}$  — отношение высоты грунтозацепа к их шагу,  $H_{k1}$  — высота контакта первого колеса со снежным покровом в зоне загрузки,  $p_{фр} \approx 20...30$  кПа — удельное сопротивление резанию внутримассивных и настовых корок,  $\mu_0$  — коэффициент, определяющий проскальзывание (буксование) колеса.

При погружении колеса в снег, превышающем дорожный просвет, возникает дополнительная сила сопротивления  $P_{f_{дн}}$ , обусловленная взаимодействием со снежным покровом днища корпуса или элементов шасси. Это сопротивление складывается, в основном, из затрат на вертикальную деформацию снега  $P_{f_{дн,л}}$  и трения о поверхность полотна пути  $P_{f_{дн,тр}}$ .

Для определения составляющих  $P_{f_{дн,л}}$  и  $P_{f_{дн,тр}}$  необходимо знать величину давления днища на снег  $q_{дн}$  или величину погружения днища  $h_{дн}$  в снежный покров, так как они однозначно взаимосвязаны [2]. При плоском днище можно получить аналитическое решение задачи.

Условие равновесия машины при погружении колеса в снег, превышающем дорожный просвет, имеет вид

$$G = G_k + G_{дн},$$

где  $G_k$  — нагрузка, воспринимаемая движителем;  $G_{дн}$  — нагрузка, воспринимаемая днищем,

$$G_k = \frac{\gamma h_{\max} h}{h_{\max} - h} S_k; \quad G_{дн} = \frac{\gamma \cdot h_{\max} (h - k)}{h_{\max} - (h - k)} S_{дн}, \quad (6)$$

( $S_k$  — активная опорная площадь движителя;  $S_{дн}$  — опорная площадь днища;  $h$  — погружение движителя;  $k$  — дорожный просвет).

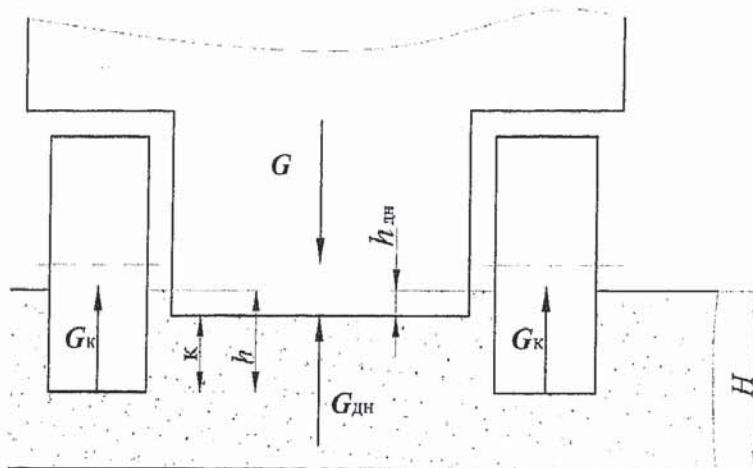


Рис. 1. Погружение днища машины в снег

После ряда несложных преобразований получим

$$h = 0,5 \left[ b - (b^2 - 4ac)^{1/2} \right] a^{-1}, \quad (7)$$

где  $b = (\gamma h_{\max}^2 + \gamma h_{\max} k)(S_k + S_{дн}) + G(2h_{\max} + k)$ ,

$$a = G + \gamma(h_{\max} + k)(S_k + S_{дн}),$$

$$c = Gh_{\max}(h_{\max} + k) + \gamma h_{\max}^2 k S_{дн}.$$

Соответственно

$$h_{дн} = h - k. \quad (8)$$

Если днище машины не является плоским, т.е. со снежным покровом взаимодействуют элементы шасси (как правило, картер переднего или заднего моста), то аналитическое решение задачи получается весьма громоздким и неоднозначным. В этом случае, используя приведенную выше методику, целесообразно численное решение задачи.

Сила сопротивления за счет вертикальной деформации снега днищем подсчитывается по зависимости

$$P_{fдн} = b_{дн} \int_0^{h_{дн}} q_{дн} dh, \quad (9)$$

где  $b_{дн}$  — ширина днища;  $q_{дн}$  — давление днища машины на снег;  $h_{дн}$  — величина погружения днища в снежный покров.

Используя зависимость «нагрузка — осадка» [2]

$$h_{дн} = \frac{q_{дн} h_{\max}}{q_{дн} + \gamma h_{\max}}, \quad (10)$$



после вычисления интеграла (9) получим

$$P_{f_{\text{дн}}} = b_{\text{дн}} \gamma h_{\text{max}}^2 \left[ -\ln \frac{\gamma h_{\text{max}}}{\gamma h_{\text{max}} + q_{\text{дн}}} - \frac{q_{\text{дн}}}{\gamma h_{\text{max}} + q_{\text{дн}}} \right]. \quad (11)$$

Сопротивление движению за счет трения днища о поверхность полотна пути определяется как

$$P_{f_{\text{дн тр}}} = (c_{\alpha} + q_{\text{дн}} \operatorname{tg} \varphi_{\alpha}) F_{\text{дн}}, \quad (12)$$

где  $c_{\alpha}$ ,  $\operatorname{tg} \varphi_{\alpha}$  — параметры, характеризующие трение материала корпуса о снег;  $F_{\text{дн}}$  — площадь днища. Силу сопротивления воздуха  $P_{\text{в}}$  можно не учитывать, так как движение колесной машины по снегу происходит с небольшими скоростями.

Анализ составляющих сопротивления движению, связанных с деформацией снега под колесом машины и в межосевой области, взаимодействием днища корпуса или элементов шасси, позволяет определить их вклад в формирование сил сопротивления.

В таблице приведены результаты расчетов силы сопротивления движению и отдельных составляющих ( $P_f^2$ ,  $h_2$  — экспериментальные значения).

Таблица

Силы сопротивления движению

| $H$ ,<br>см | $P_{fc}$ ,<br>кН | $P_{f_{\text{об}}}$ ,<br>кН | $P_{f_{\text{дн}}}$ ,<br>кН | $P_f$ ,<br>кН | $P_f^2$ ,<br>кН | $h_1$ ,<br>см | $h_2$ ,<br>см |
|-------------|------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------|-----------------|---------------|---------------|
| 10          | 5,72             | 0,98                        | —                           | 6,70          | 8,37            | 6,8           | 8,1           |
| 20          | 6,24             | 1,86                        | —                           | 8,1           | 9,62            | 13,5          | 15,8          |
| 30          | 7,02             | 2,67                        | —                           | 9,68          | 9,18            | 20,0          | 18,7          |
| 40          | 7,20             | 3,12                        | —                           | 10,35         | 11,54           | 26,1          | 28,7          |
| 50          | 7,44             | 3,86                        | 0,52                        | 11,82         | 10,28           | 32,7          | 30,7          |
| 60          | 7,70             | 4,21                        | 3,23                        | 15,16         | —               | 38,1          | 42,2          |
| 70          | 7,80             | 4,32                        | 3,99                        | 16,94         | —               | 43,2          | —             |

В целом, проведенные для целого ряда машин повышенной проходимости с полной массой от 1550 кг до 48000 кг расчеты показали [3], что составляющие сопротивления движению распределяются следующим образом: сопротивление сил деформации снега колесом — 55...90 %, сопротивление от экскавационно-бульдозерных эффектов — 10...35 %, сопротивление, обусловленное взаимодействием со снежным покровом днища корпуса или элементов шасси, — 0÷60%.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А г е й к и н Я. С. Проходимость автомобилей. — М.: Машиностроение, 1981. — 230 с.
2. Снегоходные машины / Л.В. Барахтанов, В.И. Ершов, С.В. Рукавишников и др. — Горький: Волго-Вятское кн. изд-во, 1986. — 191 с.
3. Д о п а т о И. О. Проходимость колесных машин по снегу. — М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2006. — 231 с.