

УДК 631.431.7

## Исследование динамических нагрузок гусеничной машины на почву



**М.Н. Ерохин,**

д-р техн. наук, проф., академик РАН,  
info@timacad.ru

**В.В. Стрельцов,**

д-р техн. наук, проф.,  
paika@mguki.ru  
(ФГБОУ ВПО РГАУ - МСХА  
им. К.А. Тимирязева);

**В.П. Лапик,**

канд. техн. наук, доц.  
(ФГБОУ ВПО Брянская ГСХА),  
v.p.lapick@mail.ru

**Аннотация.** Приведены некоторые закономерности деформации почвы и теоретические зависимости для определения динамических нагрузок на переувлажненную почву со стороны гусеничного движителя машин.

**Ключевые слова:** гусеничный движитель, динамические нагрузки, скорость нагружения, вибрация, опорные катки.

Вертикальные перемещения гусеничной машины создают существенные нагрузки на почву. Наиболее существенное влияние на характер деформации почвы оказывают скорость приложения нагрузки и периодическое изменение направления вектора ее действия (вибрационная нагрузка).

Для качественной характеристики взаимодействия движителей с почвой необходимо установить некоторые закономерности деформации почвы под действием динамических нагрузок, без выявления которых невозможно раскрытие достаточно полной физической сущности этого явления.

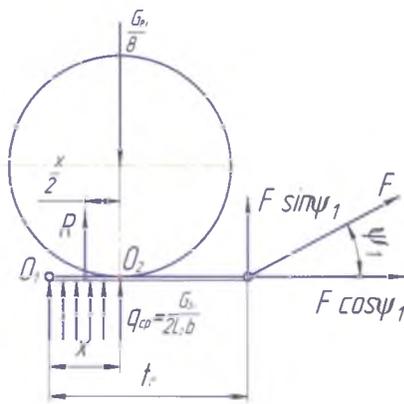
Деформация почвы зависит от интенсивности вибрационной нагрузки, которая характеризуется ускорением

колебаний, статическим давлением на почву, а также зависимостью между внешней нагрузкой на объект и скоростью его деформации [1].

Вибрационный характер нагрузок со стороны гусеничного движителя машины снижает несущую способность переувлажненных почв и, как следствие, ухудшает проходимость машины. Поэтому важной задачей являются установление источников динамических нагрузок со стороны движителя и определение их значения.

Одним из основных источников динамических нагрузок является гусеничный движитель, а в частности – направляющий и ведущий участки гусеничной цепи при их взаимодействии с первым и последним опорными катками соответственно, которые существенно влияют на величину этих нагрузок. В процессе этого взаимодействия происходит подъем катков в вертикальной или криволинейной плоскости (в зависимости от схемы подвески), который для двухбалансирной схемы подвески с числом опорных катков одного борта более шести разгружает средние опорные катки в каждой каретке и соответственно увеличивает нагрузки на крайние катки. Одновременно подобное перемещение катка создает возмущение, вызывающее колебания подрессоренных масс, в результате которых формируются дополнительные динамические нагрузки на все опорные катки. Это справедливо при движении гусеничной машины по твердому основанию.

При движении в условиях переувлажнения почвы или на основании с низкой несущей способностью подъема крайних катков в вертикальной плоскости происходить не может. Допустим, что задний опорный каток под действием силы  $F \sin \psi$ , начнет перемещаться вверх в месте с поверхностью гусеничного звена, которое в свою очередь опирается на деформируемое основание (рис. 1).



**Рис. 1. Схема движения крайних опорных катков:**

$G_{pi}$  – вес поддрессоренных масс;  
 $R$  – результирующая реакция почвы;  
 $x$  – расстояние перемещения опорного катка от точки  $O_1$  до точки  $O_2$ ;  
 $\Psi_1$  – угол наклона гусеничной цепи к плоскости движения

Перемещение опорного катка вверх может происходить в том случае, если гусеничное звено будет поворачиваться вокруг точки  $O_1$ . В то же время гусеничное звено под действием силы  $F \sin \psi_1$  может повернуться вокруг точки  $O_2$ , деформируя опорное основание, результирующая реакция которого равна:

$$R = q_{cp} x b = \frac{G_{\Sigma i} x}{2L_2} \quad (1)$$

где  $L_2$  – длина опорной поверхности, м;  
 $b$  – ширина гусеницы, м;

$x$  – расстояние перемещения опорного катка от точки  $O_1$  до точки  $O_2$ , м;

$G_{\Sigma i}$  – эксплуатационный вес гусеничной машины, отнесенный к одному опорному катку, кН.

Принимая, что эксплуатационный вес гусеничной машины, отнесенный к одному опорному катку, примерно равен весу поддрессоренных масс  $G_{\Sigma i} \approx G_{pi}$ , получим, что  $0,5 > (x/L_2)$ .

Следовательно, возможность подъема опорного катка должна определяться условием: количество крайних опорных катков кареток равно 8, или

$$\frac{G_{pi}}{8} x > \frac{x}{2} \quad (2)$$

Поскольку  $L_2 \gg x$ , то условие  $0,5 > (x/L_2)$  является невозможным (исходя из кинематической схемы гусеничного движителя).

Таким образом, при взаимодействии гусеничных движителей уборочных машин с почвой крайнее опорное звено гусеничной цепи поворачивается не вокруг точки  $O_1$ , а вокруг точки  $O_2$ , вдавливая участок  $x$  в почву. В этом случае не происходит подъема крайних опорных катков вверх, а следовательно, устраняется и причина, по которой взаимодействие ведущего и направляющего участков гусеничной цепи с крайними опорными катками является одним из источников нагрузок на опорные катки.

В этом случае целесообразно при определении нагрузок на опорные катки принимать в расчет вес поддрессоренных масс машины, изменение координаты центра тяжести в процессе эксплуатации и натяжение гусеничной цепи, которые вызывают вынужденные колебания гусеничной машины и изменяют касательную силу тяги во времени.

Для определения нагрузок на опорные катки рассмотрим общий случай неустановившегося движения машины на подъеме с глубиной колеи  $h$ , наличием реактивной силы  $R_M$  и горизонтального сопротивления перемещению рабочего органа – жатки или подборщика,  $P_f$  (рис. 2). Значение нагрузок на опорные катки определяется величиной нагрузок на оси передних и задних опорных кареток  $R_n$  и  $R_z$ . Для их определения разорвем условно гусеничную цепь на направляющем и ведущем участках и заменим натяжение на этих участках соответствующими реакциями (действие сил  $P_f$  и  $R_f$  отнесено к поддрессоренным массам).

Примем допущение:  $P_f$  приложена в центре тяжести поддрессоренных масс.

Для определения нагрузок на опорные катки передних и задних кареток необходимо рассмотреть равновесие поддрессоренных масс –  $\Sigma M_0 = 0$  с учетом показателей, приведенных на рис. 2, для передней и задней кареток.

Для учета количества опорных катков в передних  $i_n$  и задних  $i_z$  каретках введем обозначение:  $i_n/i_z = e$ .

В общем случае распределение веса поддрессоренных масс на правую и левую гусеницы может быть неодинаковым [2]. Поэтому

$$G_{pi}^* (t) = K_{pi} G_{pi} (t) \quad (3)$$

где  $K_{pi}$  – коэффициент, учитывающий распределение веса между правой  $G_{pi}^*$  и левой  $G_{pi}$  гусеницами.

Тогда с учетом уравнений равновесия поддрессоренных масс для передней и задней кареток, перераспределения нагрузок по опорным кареткам в процессе эксплуатации машины, которое оценивается показателем  $\Delta R$  и зависит от конструктивно-эксплуатационных параметров машины, определим нагрузки на передние и задние каретки гусеничного движителя:

$$P_{\Pi} = \frac{1+e}{e} x \times \left[ K_{pi} G_{pi} (t) \cos \alpha \frac{a_0(t)}{l_0} + T \sin \psi_3 + X_n \operatorname{ctg} \psi_3 - \Delta R \right] \quad (4)$$

$$P_z = \frac{1+e}{e} x \times \left[ K_{pi} G_{pi} (t) \cos \alpha \frac{b_0(t)}{l_0} + T \sin \psi_1 + P_k \operatorname{ctg} \psi_1 - \Delta R \right] \quad (5)$$

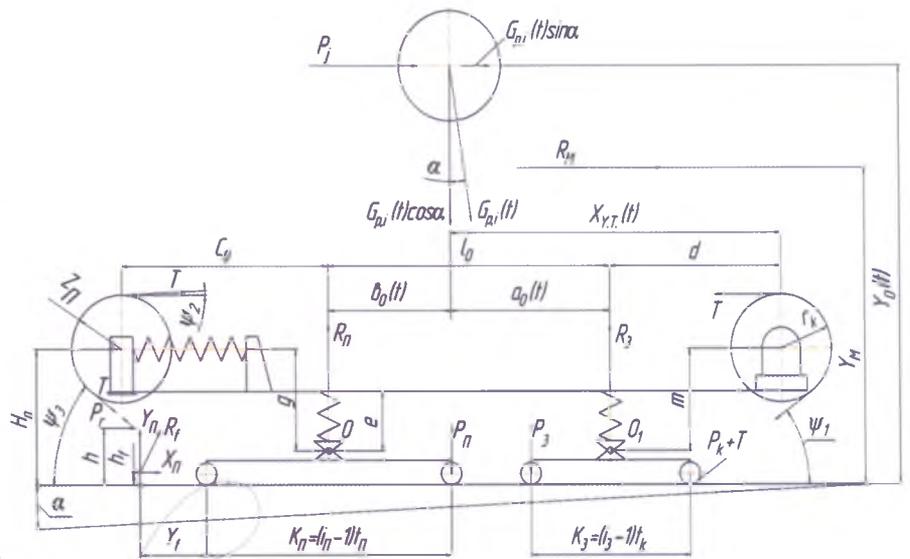
где  $i = i_n + i_z$  – количество опорных катков на одном борту движителя;

$a_0(t)$ ,  $b_0(t)$  – расстояние от координаты центра тяжести до точек крепления задней и передней кареток соответственно, м;

$X_n$  – перемещение направляющего колеса, м;

**Рис. 2. Схема для определения нагрузок на опорные катки при прямолинейном движении:**

$a$  – отклонение координаты центра тяжести в процессе эксплуатации;  
 $T$  – натяжение гусеничной цепи;  
 $P_r$  – сопротивление перемещению жатки или подборщика по полю;  
 $P_i$  – сила инерции при неустановившемся движении;  
 $R_M$  – реактивная сила при наличии отсоединяемой массы;  
 $P_k$  – изменение касательной силы тяги во времени при прямолинейном движении;  
 $P_{j,n}$  – инерционная нагрузка при криволинейном движении



$\psi_1, \psi_3$  – углы наклона гусеничной цепи к плоскости движения.

Уравнения (4) и (5) в математической форме позволяют проследить характер формирования величины нагрузок на опорные катки, составляющие которых могут иметь самые различные значения и определяются типом машины, ее морфологическими признаками, конкретными конструктивными решениями и условиями эксплуатации.

**Список использованных источников**

1. **Воронин В.А.** Основы теории тракторов, автомобилей и самоходных сельскохозяйственных машин. Благовещенск, 1981. 69 с.

2. **Баскин В.Б.** Исследование источников, величины и характера нормальных нагрузок на опорные катки гусеничного движителя самоходных уборочно-транспортных машин: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01. Благовещенск, 1972. 183 с.

**Study of track-type vehicle dynamic loadson soil**

**M.N. Erokhin, V.V. Streltsov, V.P. Lapik**

**Summary.** The article presents some mechanisms of soil deformation and theoretic aldependences for determination of dynamic loads applied by a caterpillar mover on over wetting soil.

**Key words:** caterpillar mover, dynamic load, loading rate, vibration, track rollers.

XV СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА

**АГРО**

**А/РО 2015**

**24-26  
МАРТА**

- **Сельскохозяйственная техника;**
- **Оборудование и инвентарь;**
- **Оборудование для переработки, фасовки и хранения сельхозпродукции;**
- **Оборудование для пищевой и перерабатывающей промышленности;**
- **Растениеводство;**
- **Средства защиты растений;**
- **Удобрения;**
- **Животноводство;**
- **Ветеринария;**
- **Сельские и садовые дома;**
- **Инвентарь и др.**

ООО «УРАЛЭКСПО», [www.uralexpo.ru](http://www.uralexpo.ru), [UralExpo@ya.ru](mailto:UralExpo@ya.ru)  
 тел.: (3532) 67-11-01, 67-11-02, 560-560, 45-31-31