

## АНАЛИЗ ФОРМИРОВАНИЯ ТЯГОВОГО УСИЛИЯ ТРАКТОРА ПРИ ЕГО РАБОТЕ В АГРЕГАТЕ С ПОЛУНАВЕСНЫМ СКРЕПЕРОМ С УЧЕТОМ ОСОБЕННОСТИ РАЗГРУЗКИ ПОСЛЕДНЕГО

Калинин Е.И., к.т.н.

*Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка*

*Проведен анализ влияния выгрузки транспортируемого материала с ковша полунавесного скрепера, при представлении последнего как жесткого твердого тела переменной массы, на тяговое усилие энергетического средства, входящего в состав ЗТМ.*

**Введение.** Установлено, что при выгрузке транспортируемого материала с ковша полунавесного скрепера происходит смещение центра масс последнего, что приводит к возникновению дополнительных моментов, участвующих в формировании как тягового усилия трактора в частности, так и его тягово-энергетических характеристик в целом.

**Анализ литературных источников.** Работами проф. Г.М. Кутькова было предложено рассматривать тяговое усилие трактора не как стационарную, а некоторую функциональную зависимость, которая в общем виде является случайной функцией, которую можно представить в виде нескольких составляющих, различающихся между собой амплитудой и частотой.

Так, используя комбинацию методов наложения и огибающих, удалось в работах [1, 2] выделить пять основных составляющих случайного процесса колебаний нагрузки на крюке, который был зарегистрирован при работе трактора Т-150. Установлено, что составляющие не являются строго гармоническими функциями, так как период колебаний каждой такой гармоники изменяется в некоторых пределах [3].

При этом в работе [4] установлено, что две составляющие из пяти полученных возникают вследствие взаимодействия трактора и машины с грунтом, две совпадают с собственной частотой колебаний остова трактора и одна генерируется в ходовой системе трактора.

Можно ожидать, что нестационарность массы машины, с которой агрегируется трактор, также приводит к возникновению дополнительных колебаний тягового усилия.

**Цель работы и постановка задачи.** Цель работы – оценка влияния разгрузки полунавесного скрепера на формирование тягового усилия трактора, входящего в состав ЗТМ. Для достижения поставленной цели необходимо рассмотреть комплекс сил, действующих на скрепер, как плоскую систему сил.

**Основная часть.** Для анализа формирования тягового усилия трактора, рассмотрим систему сил, действующих на скрепер (рис. 1). Она является плоской и включает в себя:  $G_i$  – вес скрепера в характерных состояниях,

связанных с периодами его разгрузки,  $H$  (является функцией времени, поэтому на рис. 1 представлен в виде эпюры);  $N$  – реакция опоры, возникающая на колесе скрепера,  $H$ ;  $P_f$  – сила сопротивления перекачиванию колеса скрепера,  $H$ .

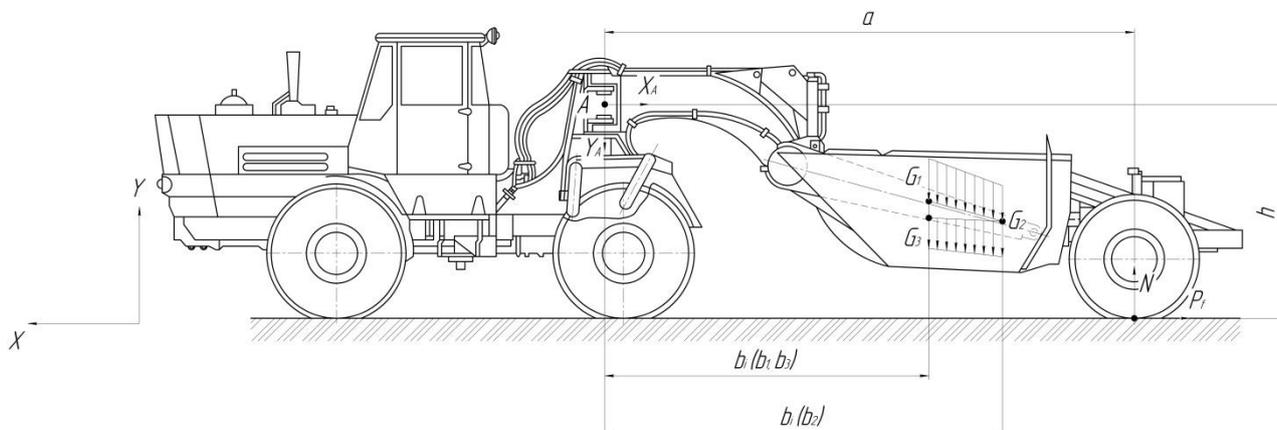


Рис. 1 – Плоская система сил, действующая на скрепер

Введем систему координат, ось абсцисс которой совпадает с направлением движения агрегата, и точку  $A$ , расположенную в шарнире седельно-сцепного устройства. В данной точке приложена реакция связи (тяговое усилие трактора), которую, для большей информативности, целесообразно разложить на две составляющие:  $X_A$ , которая эквивалентна тяговому усилию трактора на крюке и  $Y_A$  – сила, обеспечивающая догрузку заднего моста трактора за счет частичного переноса веса полунавесной машины.

Введем необходимые геометрические характеристики:  $a$  – расстояние от точки  $A$  до оси вращения колеса скрепера, м;  $b_i (b_1, b_2 \text{ и } b_3)$  – расстояния от точки  $A$  до точек приложения веса скрепера, характеризующих периоды его разгрузки.

Ввиду того, что данная система сил является плоской, условие ее равновесия выразится в виде:

$$\begin{cases} -X_A - P_f = 0 \\ -Y_A + N - G_i = 0 \\ G_i \cdot b_i - N \cdot a + P_f \cdot h = 0. \end{cases} \quad (1)$$

Из данной системы уравнений получим:

$$X_A = P_f; \quad (2)$$

$$Y_A = G_i - \frac{G_i \cdot b_i + P_f \cdot h}{a}. \quad (3)$$

Для определения сопротивления качению одинарного колеса по несущей поверхности при установившемся режиме существует несколько зависимостей. Одна из них, которая наиболее полно отражает реальные условия

взаимодействия колеса с поверхностью, имеет следующий вид [5]:

$$P_f = \frac{\gamma_{uu} \cdot u_{uu} \cdot \lambda_n \cdot h_{uu}^2}{4\pi r_\partial}, \quad (4)$$

где  $\gamma_{uu}$  – коэффициент пропорциональности;  
 $u_{uu}$  – коэффициент, который определяет соотношение между работой, потраченной при одноразовом сжатии шины и за один ее оборот;  
 $\lambda_n$  – жесткость шины;  
 $h_{uu}$  – нормальная деформация шины, м;  
 $r_\partial$  – динамический радиус колеса, который может быть определен из зависимости:

$$r_\partial = 0,5D_o - h_{uu}, \quad (5)$$

где  $D_o$  – свободный диаметр колеса, м.

Нормальная деформация шины может быть определена по формуле Хейдекеля [27]:

$$h_{uu} = \frac{G_i}{2\pi p_{uu} \sqrt{r_o r_c}}, \quad (6)$$

где  $p_{uu}$  – давление в шине, Па;  
 $r_o$  – статический радиус шины, м;  
 $r_c$  – радиус сечения шины, м:

$$r_c = \frac{b_o}{2}, \quad (7)$$

где  $b_o$  – ширина шины, м.

Коэффициент  $u_{uu}$  может быть определен по следующей зависимости:

$$u_{uu} = \frac{\pi h_{uu} (2r_o - h_{uu})}{\frac{r_o^2}{2} \left( \frac{\pi D_o}{180} - \sin \alpha \right)}, \quad (8)$$

где

$$\alpha = 2 \arccos \frac{r_o - h_{uu}}{r_o}. \quad (9)$$

Вес  $G_i$  грунта определится из зависимости:

$$G_i = \rho V g, \quad (10)$$

где  $\rho$  – плотность грунта, находящегося в ковше скрепера, кг/м<sup>3</sup>;

$V$  – объем призмы грунта, оставшегося в ковше в данном состоянии,  $\text{м}^3$  (определяется как сумма объемов элементарных трапеций, рассмотренных в работе [5]).

В таком случае полный вес скрепера определится как:

$$G = G_i + G_o, \quad (11)$$

где  $G_o$  – конструктивный вес скрепера, Н.

### Результаты теоретических исследований.

Рассмотрим работу скрепера с грунтами I-III категории. Тогда результаты расчетов примут вид, представленный на рис. 2 и рис. 3.

Из зависимостей (рис. 2) можно сделать вывод, что ввиду наличия седельно-цепного устройства, происходит перераспределение веса скрепера, обеспечивающее незначительное формирование тягового усилия трактора. При этом величина  $X_A$  изменяется незначительно в ходе разгрузки, что говорит о ее несущественном влиянии на тягово-цепные свойства энергетического средства.

Из зависимостей (рис. 3) можно сделать вывод, что при разгрузке полунавесного скрепера осуществляется значительная разгрузка заднего ведущего моста трактора, что способствует снижению его тягово-цепных свойств. При этом зависимость является не монотонно убывающей, а представляет собой функцию, возрастающую при окончании второго состояния разгрузки ковша скрепера.

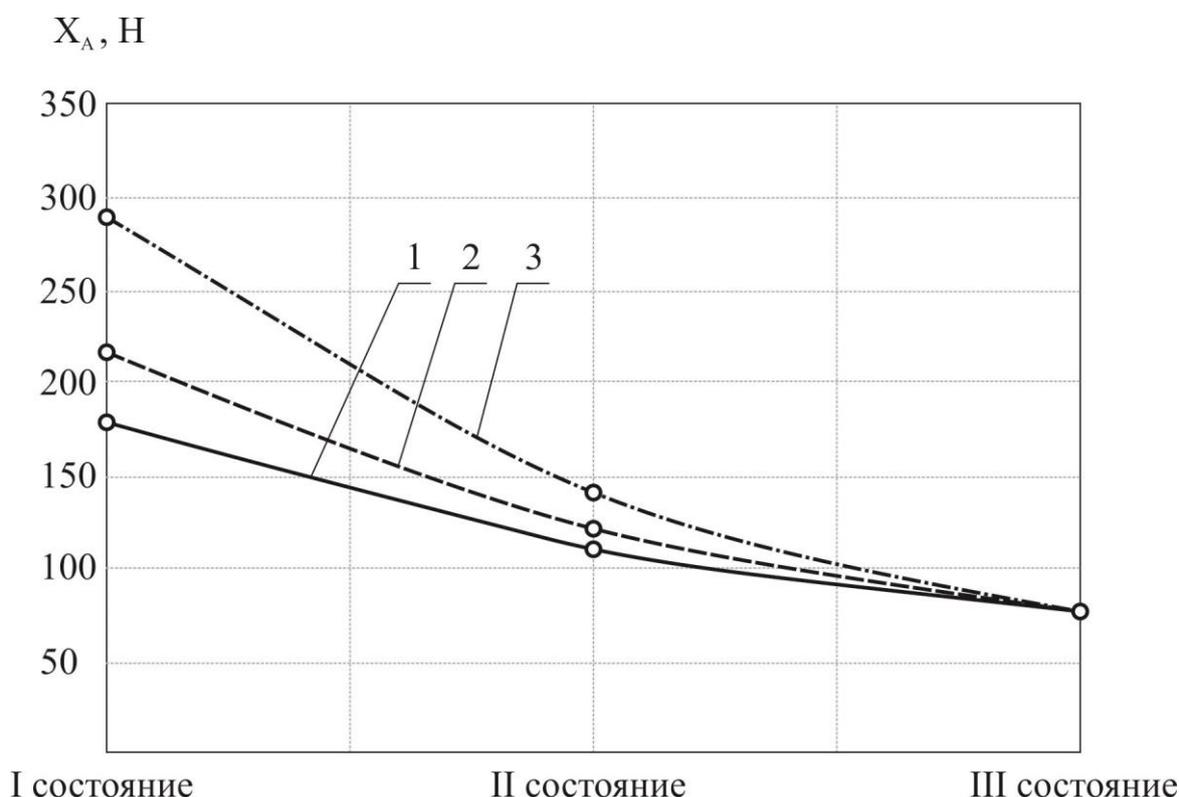


Рис. 2 – Зависимость значения реакции  $X_A$  от состояния разгрузки скрепера:  
1, 2 и 3 – соответственно, I, II и III категория грунта

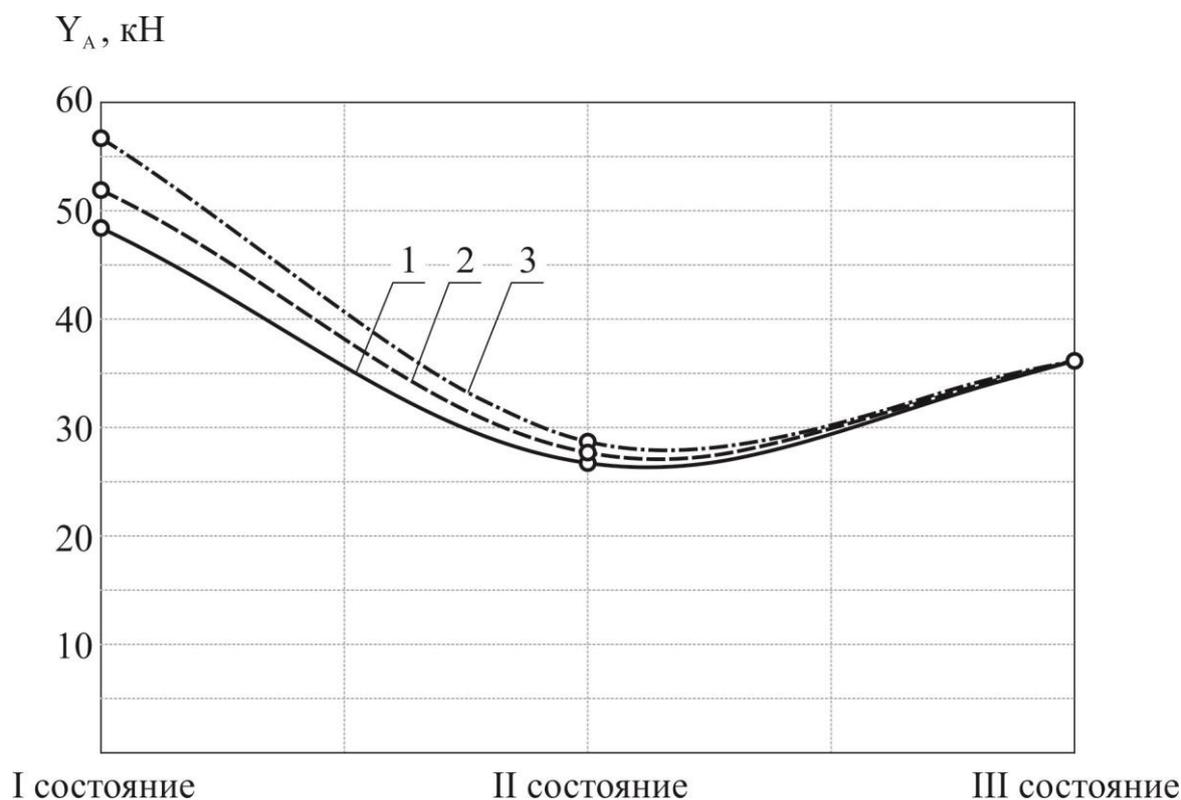


Рис. 3 – Зависимость значения реакции  $Y_A$  от состояния разгрузки скрепера.  
Обозначения те же, что и на рис. 2

**Выводы.** При функционировании тягово-энергетического средства с полунавесной машиной переменной массы наблюдается передача части массы машины на заднюю ось трактора. При этом формируются две компланарные ортогональные силы, каждая из которых участвует в формировании тягово-энергетических показателей трактора. Сила, связанная с догрузкой ведущих колес трактора (сила  $Y_A$ ), является основной силой, а ее характер изменения не имеет монотонный убывающий характер.

### Список литературы

1. Кутьков Г.М. Анализ источников генераций колебаний нагрузки на двигатель тракторов [Текст] / Г. М. Гуськов, В.С. Пучков, А.И. Холин // Тракторы и сельхозмашины. – 1975. – № 6. – С. 9 – 10.
2. Пучков В.С. Имитация тяговой нагрузки скоростных гусеничных тракторов тягового класса 3,0 [Текст] / В. С. Пучков // Труды ОНТИ НАТИ. – 1975. – Вып. 236. – С. 78 – 82.
3. Кутьков Г. М. Тяговая динамика тракторов [Текст] / Г. М. Кутьков. – М. : Машиностроение, 1980. – 216 с.
4. Болотин А. А. О характере нагрузки на двигатель и силовую передачу трактора [Текст] / А. А. Болотин. // Тракторы и сельхозмашины. – 1959. – №11. – С. 15 – 19.

5. Барский И. Б. Динамика трактора [Текст] / И. Б. Барский, В. Я. Анилович, Г. М. Кутьков. – М. : Машиностроение, 1973. – 280 с.

### **Аннотація**

#### **АНАЛІЗ ФОРМУВАННЯ СИЛИ ТЯГИ ТРАКТОРА ПРИ ЙОГО РОБІТ В АГРЕГАТІ З НАПІВНАЧІПНИМ СКРЕПЕРОМ З УРАХУВАННЯМ ОСОБЛИВОСТІ РОЗВАНТАЖЕННЯ ОСТАННЬОГО**

Калінін Є.І.

*Проведено аналіз впливу вивантаження матеріалу з ковша напівначіпного скрепера, при представленні останнього як жорсткого твердого тіла змінної маси, на тягове зусилля тягово-енергетичного засобу, що входить до складу ГТМ.*

### **Abstract**

#### **ANALYSIS OF TRACTOR TRACTION DURING ITS WORK IN UNITS WITH SEMI-MOUNTED SCRAPERS BECAUSE OF THE CHARACTER IT DISCHARGE**

Y. Kalinin

*The analysis of influence discharge of the transported material with semi-mounted scraper bucket, when presenting the latter as rigid bodies variable weight on traction force traction and power tools, part of the GTM.*