

5. Гусеничный трактор : пат. 21044 Респ. Беларусь, МПК В 62D 55/08 / А.Н. Орда, В.А. Агейчик, В.А. Шкляревич, И.А. Тарасевич, А.С. Воробей ; заявитель Бел. гос. агр. техн. ун-т. – № а 20130338; заявл. 18.03.13 ; опубл. 30.06.17 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2017. – № 3. – С. 86–87.

6. Приспособляемость ходовых систем почвообрабатывающих агрегатов к почвенным условиям эксплуатации / А.Н. Орда, В.А. Шкляревич, А.С. Воробей // Агропанорама. – 2013. – № 5. – С. 9–12.

**Abstract.** Based on the study of the interaction of the elements of the agrotechnical system "operator – machine-tractor unit (MTU) – running system MTU – soil," the design of the caterpillar propulsor is proposed, which increases the adaptability of the caterpillar running system MTU to soil operating conditions and reduces its compacting effect on the soil.

УДК 631. 372

**Орда А.Н.**, доктор технических наук, профессор;  
**Шкляревич В.А.**

*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,  
г. Минск, Республика Беларусь*

## **УПЛОТНЯЮЩЕЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ХОДОВЫХ СИСТЕМ МАШИННО-ТРАКТОРНЫХ АГРЕГАТОВ НА ПОЧВУ**

**Аннотация.** При тяговом расчете машинно-тракторного агрегата (МТА) получены зависимости, которые позволяют определить нормальные реакции почвы на движители колесного трактора в зависимости от динамических нагрузок, действующих на МТА, а также его конструктивных и технологических параметров.

Большинство технологических операций возделывания сельскохозяйственных культур выполняются машинно-тракторными агрегатами, в состав которых входит трактор и сельскохозяйственная машина. И именно под воздействием ходовых систем тракторов, предназначенных для реализации тягово-сцепных свойств через их

взаимодействие с опорным основанием, происходит чрезмерное уплотнение почвы, которое отрицательно сказывается на ее плодородии и приводит к росту затрат на производство продукции растениеводства.

Для того, чтобы определить динамические нагрузки, возникающие при взаимодействии ходовых систем и рабочих органов машинно-тракторных агрегатов с почвой и определяющие уплотняющее воздействие на почву, произведем тяговый расчет МТА, в состав которого входит трактор и сельскохозяйственная машина (рисунки 1 и 2). Рассмотрим общий случай установившегося прямолинейного движения машинно-тракторного агрегата по горизонтальной поверхности поля, при котором силы инерции его движущихся масс и горизонтальные составляющие силы тяжести трактора и сельскохозяйственной машины равны нулю. Силы сопротивления остова трактора в ступицах его движителей, трения между элементами гусеничного движителя, сопротивления воздуха лобовой поверхности трактора, вследствие их малых значений, при расчетах также не учитываем.

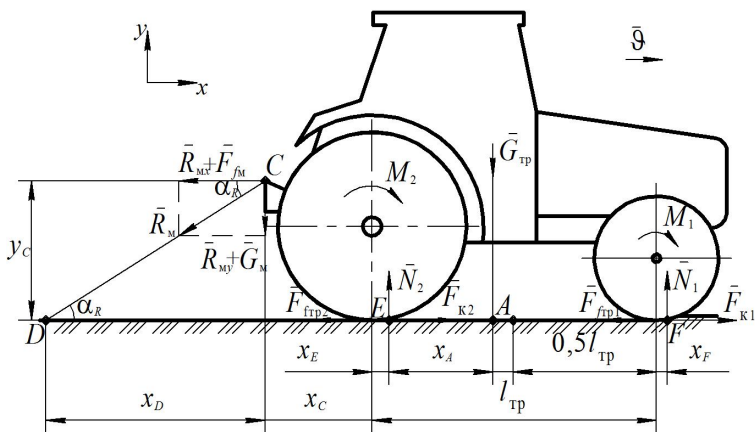


Рисунок 1 – Схема сил, действующих на машинно-тракторный агрегат, в состав которого входит колесный трактор и навесная сельскохозяйственная машина

Касательная сила тяги развиваемая движителем трактора  $F_k$  – равнодействующая реакций почвы, которая образуется в пятне контакта движителя с почвой и направлена параллельно вектору скорости поступательного движения трактора  $\vec{v}$  в сторону этого

движения. Касательная сила тяги создает ведущий момент, необходимый для передвижения машинно-тракторного агрегата по поверхности поля, преодолевает тяговое сопротивление  $R_M$ , агрегируемой с трактором сельскохозяйственной машины, и сопротивление качению движителей МТА.

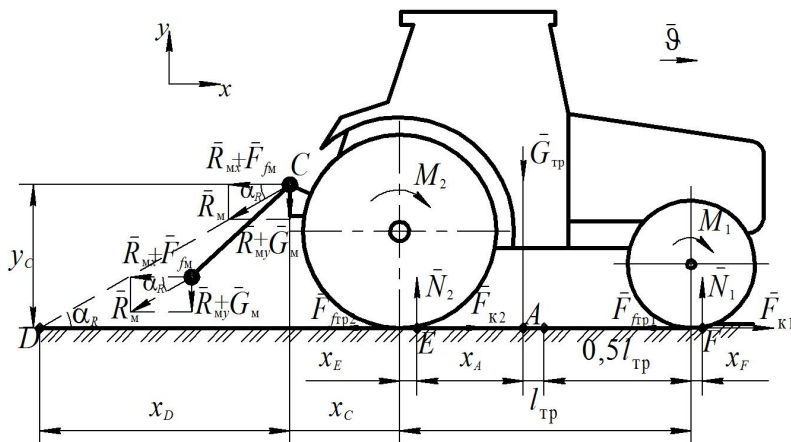


Рисунок 2 – Схема сил, действующих на машинно-тракторный агрегат, в состав которого входит колесный трактор и прицепная сельскохозяйственная машина

Текущее значение касательной силы тяги определяется по формуле [1, 2]:

$$F_k = \varphi_{исп} N, \quad (1)$$

где  $\varphi_{исп}$  – коэффициент использования сцепного веса,  $0 \leq \varphi_{исп} \leq \varphi_{сц}$ ;  $N$  – вертикальная составляющая реакции почвы на движитель трактора,  $N$ .

Предельное значение касательной силы тяги [1, 2]:

$$F_{k \max} = \varphi_{сц} N, \quad (2)$$

где  $\varphi_{сц}$  – коэффициент сцепления движителя с почвой.

Значения коэффициента сцепления колесных тракторов в зависимости от состояния почвенного агрофона изменяются в пределах от 0,4 до 0,9, гусеничных – от 0,6 до 1,2 [1, 3].

Силы сопротивления качению трактора  $F_{к1}$  и сельскохозяйственной машины  $F_{к2}$  обусловлены деформациями почвы под их

двигателями, гистерезисными потерями в пневмошинах, потерями на трение при скольжении ведомых колес и направлены против вектора скорости поступательного движения машинно-тракторного агрегата. Их величины определяются по соответствующим формулам:

$$F_{f_{тр}} = fG_{тр}, \quad (3)$$

где  $f$  – коэффициент сопротивления качению;  $G_{тр}$  – вес трактора, Н;

$$F_{f_{м}} = fG_{м}, \quad (4)$$

где  $G_{м}$  – вес сельскохозяйственной машины, Н.

Коэффициент сопротивления качению колесных двигателей при их движении по поверхности поля принимает значения в пределах от 0,05 до 0,18 и от 0,05 до 0,12 – гусеничных [1, 2].

Агрегатируемая с трактором как навесная (рисунок 1), так и прицепная (рисунок 2) сельскохозяйственная машина оказывает результирующее тяговое сопротивление  $R_{м}$ , приложенное в точке  $C$  механизма навески трактора и равное тяговому усилию на крюке трактора  $F_{кр}$ . Согласно векторному уравнению равновесия всех сил, действующих на машинно-тракторный агрегат и приведенных к точке  $C$  механизма навески трактора, результирующее тяговое сопротивление  $R_{м}$  равняется векторной сумме горизонтальной составляющей тягового сопротивления сельскохозяйственной машины  $R_{мх}$ , необходимой для выполнения технологической операции возделывания сельскохозяйственной культуры, силы сопротивления качению сельскохозяйственной машины  $F_{f_{м}}$ , вертикальной составляющей тягового сопротивления сельскохозяйственной машины  $R_{му}$ , включая нормальные реакции почвы на опорные колеса, и веса сельскохозяйственной машины  $G_{м}$ :

$$\sum \bar{F}_i = 0; \quad (5)$$

$$\bar{R}_m = \bar{R}_{мх} + \bar{F}_{f_{м}} + \bar{R}_{му} + \bar{G}_m.$$

Два первых слагаемых векторного уравнения равновесия (5) оказывают сопротивление передвижению машинно-тракторного агрегата по поверхности поля, а третье и четвертое – создают дополнительную вертикальную нагрузку к весу трактора, увеличивая тем самым уплотняющее воздействие на почву ходовой системы трактора.

Запишем уравнения равновесия сил и моментов сил, действующих на машинно-тракторный агрегат при его взаимодействии с почвой, в состав которого входит колесный трактор со всеми ведущими колесами (индекс «1» для передних колес, «2» – задних) и навесная (рисунок 1) или прицепная (рисунок 2) сельскохозяйственная машина, в продольно-вертикальной плоскости к вектору скорости поступательного движения агрегата  $\vec{v}$  с учетом описанных выше допущений.

$$\begin{aligned} \sum F_x &= 0; \\ F_{к1} + F_{к2} &= F_{f_{тп1}} + F_{f_{тп2}} + R_{мх} + F_{f_m}; \\ F_{к1} + F_{к2} &= F_{f_{тп1}} + F_{f_{тп2}} + R_m \cos \alpha_R + F_{f_m}, \end{aligned} \quad (6)$$

где  $\cos \alpha_R = \frac{x_D}{y_C}$ .

В том случае, если у колесного трактора ведущими являются только задние колеса, касательная сила тяги передних колес равна нулю, то есть  $F_{к1}=0$ .

$$\begin{aligned} \sum F_y &= 0; \\ N_1 + N_2 &= G_{тп} + G_m + R_{my}; \\ N_1 + N_2 &= G_{тп} + G_m + R_m \sin \alpha_R, \end{aligned} \quad (7)$$

где  $\sin \alpha_R = \frac{y_C}{x_D}$ .

Нормальная реакция почвы на колеса передней оси трактора  $N_1$  определяется из уравнения моментов сил, действующих на МТА, относительно точки  $E$  (рисунки 1 и 2):

$$\begin{aligned} \sum M_E(\bar{F}_i) &= 0; \\ N_1(l_{тп} - x_E + x_F) + R_{мх}y_C + F_{f_m}y_C + R_{my}(x_C + x_E) + \\ &+ G_m(x_C + x_E) - G_{тп}(0,5l_{тп} - x_A - x_E) = 0. \end{aligned} \quad (8)$$

Откуда

$$N_1 = \frac{G_{\text{тр}}(0,5l_{\text{тр}} - x_A - x_E) - (R_m \cos \alpha_R + F_{f_m})y_C}{(l_{\text{оп}} - x_E + x_F)} - \frac{(R_m \sin \alpha_R + G_m)(x_C + x_E)}{(l_{\text{тр}} - x_E + x_F)}. \quad (9)$$

Нормальная реакция почвы на колеса задней оси трактора  $N_2$  определяется из уравнения моментов сил, действующих на МТА, относительно точки  $F$  (рисунки 1 и 2):

$$\sum M_F(\bar{F}_i) = 0; \\ -N_2(l_{\text{тр}} - x_E + x_F) + R_{\text{мх}}y_C + F_{f_m}y_C + R_{\text{мы}}(l_{\text{тр}} + x_C + x_F) + (10) \\ + G_m(l_{\text{тр}} + x_C + x_F) + G_{\text{тр}}(0,5l_{\text{тр}} + x_A + x_F) = 0.$$

Откуда

$$N_2 = \frac{G_{\text{тр}}(0,5l_{\text{тр}} + x_A + x_F) + (R_m \cos \alpha_R + F_{f_m})y_C}{(l_{\text{тр}} - x_E + x_F)} + \frac{(R_m \sin \alpha_R + G_m)(l_{\text{тр}} + x_C + x_F)}{(l_{\text{тр}} - x_E + x_F)}. \quad (11)$$

Полученное уравнение (6) устанавливает условия, необходимые для передвижения машинно-тракторного агрегата по поверхности поля, согласно которым проходимость и тягово-сцепные свойства МТА тем выше, чем больше величина касательной силы тяги  $F_k$ , развиваемая его движителями, и чем меньше величины горизонтальной составляющей тягового сопротивления сельскохозяйственной машины  $R_{\text{мх}}$  и силы сопротивления качению движителей МТА. Регулировать величину горизонтальной составляющей тягового сопротивления сельскохозяйственной машины  $R_{\text{мх}}$ , согласно полученных уравнений, можно изменением угла наклона результирующего вектора тягового сопротивления  $\bar{R}_m$  к горизонтали –  $\alpha_R$ .

Зависимости (7), (9) и (11), полученные при тяговом расчете машинно-тракторного агрегата, позволяют определить нормальные реакции почвы на движители колесного трактора в зависимости от динамических нагрузок, действующих на МТА ( $G_{\text{тр}}$ ,  $G_m$ ,  $R_m$ ,  $F_{f_m}$ ), а также его конструктивных и технологических параметров (колес-

ная база трактора –  $l_{оп}$ ; положение центра тяжести трактора –  $x_A$ ; положение точки  $C$  механизма навески трактора –  $x_C$  и  $y_C$ ). Значения нормальных реакций почвы на движители трактора определяют уплотняющее воздействие ходовых систем МТА на почву, влияют на тягово-сцепные свойства МТА.

Список использованных источников

1. Скотников, В.А. Проходимость машин / В.А. Скотников, А.В. Пономарев, А.В. Климанов. – Минск : Наука и техника, 1982. – 328 с.
2. Гуськов, А.В. Оптимизация потребительских свойств и параметров колесных тракторов семейства «Беларус»: монография / А.В. Гуськов ; под ред. д-ра техн. наук, проф. В.П. Бойкова. – Могилев : Бел.-Рос. ун-т, 2008. – 210 с.
3. Кутьков, Г.М. Тракторы и автомобили. Теория и технологические свойства / Г. М. Кутьков. – М. : Колос, 2004. – 504 с.

**Abstract.** At traction calculation of machine-tractor unit (MTU) dependencies are obtained, which make it possible to determine normal soil reactions to wheel tractor propulsors depending on dynamic loads acting on MTU, as well as its structural and technological parameters.

УДК 637.116.2

**Еднач В.Н.**<sup>1</sup>, кандидат технических наук, доцент;

**Жилич Е.Л.**<sup>2</sup>, **Рогальская Ю.Н.**<sup>2</sup>

<sup>1</sup>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,  
г. Минск, Республика Беларусь,

<sup>2</sup>РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»,  
г. Минск, Республика Беларусь,

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ  
К ОБОСНОВАНИЮ ВЕЛИЧИН  
ВАКУУММЕТРИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ  
В СУЩЕСТВУЮЩИХ ДОИЛЬНЫХ АППАРАТАХ**

**Аннотация:** Уровень (сила) вакуума напрямую влияет на силу сжатия соска, то есть силу, с которой молоко «выжимается» из соска. Слишком высокий уровень вакуума может разрушать желез-