

УДК 631.372.05.001.2(23)

*З. С. Салбиева, М. С. Льянов, И. С. Сазонов, П. А. Амельченко***МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО МЕХАНИЗМА АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ВЕРТИКАЛЬНОЙ СТАБИЛИЗАЦИИ ОСТОВА СКЛОНОХОДА**

UDC 631.372.05.001.2(23)

*Z. S. Salbiyeva, M. S. Lyanov, I. S. Sazonov, P. A. Amelchenko***THE MATHEMATICAL MODEL OF THE ACTUATOR OF THE AUTOMATIC SYSTEM OF VERTICAL STABILIZATION OF THE BODY OF A SLOPE VEHICLE****Аннотация**

Изложена методика составления математической модели исполнительного механизма системы автоматической стабилизации (САС) остова склонохода (крутосклонного колесного трактора) с гидроприводом, позволяющей исследовать динамику процесса выравнивания остова машины, находящегося на склоне, в зависимости от кинематических параметров механизма стабилизации и характеристики гидропривода.

**Ключевые слова:**

математическая модель, система автоматической стабилизации, остов склонохода, гидропривод, склон, кинематические параметры, механизм стабилизации, динамика процесса выравнивания, крутосклонный колесный трактор.

**Abstract**

The paper gives the techniques of composing the mathematical model of the actuator of the system of automatic stabilization (SAS) of the body of a slope vehicle (hillside wheeled tractor) with the hydraulic drive, which enables investigating the dynamics of the process of on-slope vehicle body leveling, depending on the kinematic parameters of the stabilization mechanism and the characteristics of hydraulic drive.

**Key words:**

mathematical model; automatic stabilization system; slope vehicle body; hydraulic drive; slope; kinematic parameters; stabilization mechanism; dynamics of leveling process; hillside wheeled tractor.

Для разработки математической модели системы автоматической стабилизации остова крутосклонного трактора (склонохода), прежде всего, составим уравнение работы гидродвигателя, представляющего собой исполнительный механизм САС поршневого типа. Уравнение работы гидропривода представим известным уравнением [1]

$$\frac{1}{k_{жс}} \cdot \frac{d\Sigma P}{dt} + \frac{dy}{dt} = k_v \sqrt{1 - \frac{\Sigma P}{F \cdot P_o} \sin \alpha} \cdot \rho, \quad (1)$$

где  $k_v$  – кривизна скоростной характе-

ристики холостого хода гидропривода с «идеальным» золотником,

$$k_v = \mu \frac{b}{F} \sqrt{\frac{q \cdot P_o}{\gamma}}; \quad b - \text{периметр рабочего}$$

дросселирующего окна;  $\rho$  – отклонение золотника от среднего положения;  $\mu$  – коэффициент расхода;  $\gamma$  – плотность жидкости;  $P_o$  – максимальное рабочее давление, развиваемое насосом в напорной магистрали;  $F$  – эффективная площадь поршня;  $k_{жс}$  – приведенная жесткость жидкости и трубопроводов, соединяющих полости гидроцилиндра,

которая определяется экспериментально;  $\frac{d\Sigma P}{dt}$  – скорость изменения равнодействующей силы, действующей на поршни гидроцилиндра;  $\Sigma P$  – равно-

действующая сила, действующая на поршни гидроцилиндров (рис. 1),  $\Sigma P = F_1 = F_2$ ;  $\frac{dy}{dt}$  – скорость вертикального перемещения остова склонохода.

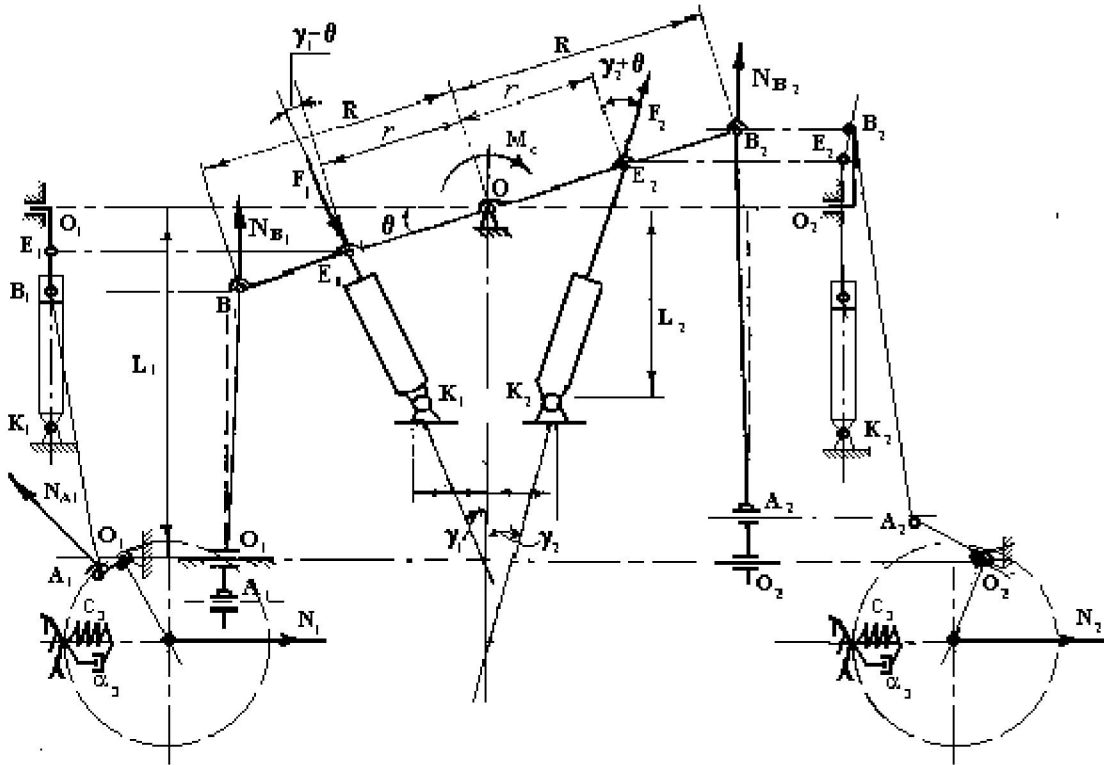


Рис. 1. Кинематическая схема механизма стабилизации крена крутосклонного колесного трактора

Для определения составляющих равнодействующей силы  $P$  составим уравнение моментов всех сил относительно точки  $O$  вращения коромысла механизма стабилизации (см. рис. 1):

$$(F_1 \cos \gamma_1 + F_2 \cos \gamma_2) r \cdot \cos \Theta - (N_{B_2} - N_{B_1}) R \cdot \cos \Theta - M_C = 0 \quad (2)$$

или

$$F_1 \cos \gamma_1 + F_2 \cos \gamma_2 = \frac{R}{r} (N_{B_2} - N_{B_1}) - \frac{M_C}{r \cdot \cos \Theta}, \quad (3)$$

где  $N_{B_1}$  и  $N_{B_2}$  – реакции опорной поверхности, действующие на коромысло,

которые могут быть представлены через радиальные деформации шин задних колес трактора:

$$N_{B_1} = N_{A_1} \cdot \cos \gamma = \frac{c_3 \cdot z_4 \cdot l_p}{l_4} \cos^2 \gamma; \quad (4)$$

$$N_{B_2} = N_{A_2} \cdot \cos \gamma = \frac{c_3 \cdot z_4 \cdot l_p}{l_4} \cos^2 \gamma.$$

Подставив выражения (3) и (4) в (2), получим

$$F_1 \cos \gamma_1 + F_2 \cos \gamma_2 = \frac{R}{r} \cdot \frac{l_p}{l_4} c_3 \cos^2 \gamma (z_4 - z_3) + \frac{M_C}{r \cdot \cos \Theta}, \quad (5)$$

где  $R$  – длина рычага коромысла (см. рис. 1);  $M_C$  – суммарный момент сопротивления, зависящий от боковых сил, действующих на колеса, деформации почвы, боковых деформаций задних шин, а также от трений в кинематических парах механизма стабилизации и др. параметров [3].

Для вывода уравнения динамики гидропривода склонохода рассмотрим кинематическую схему системы стабилизации с гидравлическим исполнительным механизмом (см. рис. 1).

Приведенная сила  $P$  определяется по формуле

$$P = F_1 + F_2. \quad (6)$$

Работа сил на возможных перемещениях равна:

$$F_1 \cdot \delta_1 + F_2 \cdot \delta_2 = P \cdot y, \quad (7)$$

где  $\delta_1$  и  $\delta_2$  – возможные перемещения левого и правого штоков гидроцилиндров;  $y$  – перемещение центра масс остова склонохода.

Из уравнения (7) силы  $F_1$  и  $F_2$  можно выразить через перемещения и силу  $P$ :

$$F_1 = \frac{P(y - \delta_2)}{\delta_1 - \delta_2}; \quad F_2 = \frac{P(\delta_1 - y)}{\delta_1 - \delta_2}. \quad (8)$$

Подставив выражения (8) в уравнение (1), получим

$$P = [(R \cdot l_p \cdot \cos^2 \gamma \cdot \cos \Theta \cdot c_{\text{жс}} \times (z_4 - z_3) + M_C \cdot l_4) \cdot (\delta_1 - \delta_2)] : [((y - \delta_2) \cos \gamma_1 + (\delta_1 - y) \cos \gamma_2) \times r \cdot l_4 \cdot \cos \Theta]. \quad (9)$$

Введем обозначения:

$$k_1 = R \cdot l_p \cdot \cos^2 \gamma \cdot \cos \Theta \times c_{\text{жс}} (z_4 - z_3) + M_C \cdot l_4;$$

$$k_2 = r \cdot l_4 \cdot \cos \Theta [(y - \delta_2) \times \cos \gamma_1 (\delta_2 - y) \cos \gamma_2]. \quad (10)$$

Тогда

$$\frac{dP}{dt} = [(\dot{k}_1 (\delta_1 - \delta_2) + k_1 (\dot{\delta}_1 - \dot{\delta}_2)) \times k_2 - \dot{k}_2 k_1 (\delta_1 - \delta_2)] / k_2^2, \quad (11)$$

где

$$\dot{k}_1 = R \cdot l_p \cdot c_{\text{жс}} [(\dot{z}_4 - \dot{z}_3) \cos \Theta \times \cos^2 \gamma - (z_4 - z_3) \sin \Theta \cdot \cos \gamma \dot{\Theta} - 2(z_4 - z_3) \cos \Theta \cdot \cos \gamma \sin \gamma \dot{\gamma}] + M_C(t) \cdot l_4;$$

$$\dot{k}_2 = -r \cdot l_4 \cdot \sin \Theta [(y - \delta_2) \cdot \cos \gamma_1 + (\delta_1 - y) \cos \gamma_2] \dot{\Theta} + r \cdot l_4 \cdot \cos \Theta \times [(y - \delta_2) \cdot \cos \gamma_1 - (y - \delta_2) \sin \gamma_1 \dot{\gamma}_1 + (\delta_1 - y) \cos \gamma_2 - (\delta_1 - y) \sin \gamma_2 \dot{\gamma}_2]. \quad (12)$$

Подставим выражения (8)...(12) в уравнение (7) и произведем формальные преобразования с учетом следующих обозначений:

$$A_1 = \frac{1}{k_2^2 \cdot k_{\text{жс}}} \{r \cdot l_4 \sin \Theta [(y - \delta_2) \cos \gamma_1 + (\delta_1 - y) \cos \gamma_2] k_1 (\delta_1 - \delta_2) - k_2 (z_4 - z_3) \sin \Theta \cos^2 \gamma\};$$

$$A_2 = 1 + \frac{k_1 (\delta_1 + \delta_2)}{k_2^2 \cdot k_{\text{жс}}} \times (r \cdot l_4 \cos \Theta \cos \gamma_1 - \cos \gamma_2);$$

$$A_3 = \frac{1}{k_2^2 \cdot k_{\text{жс}}} [k_2 - (\delta_1 - \delta_2) \cos \gamma_2];$$

$$A_4 = \frac{k_1}{k_2^2 \cdot k_{\text{жс}}} [k_2 - (\delta_1 - \delta_2) r \cdot l_4 \cos \Theta \cos \gamma_1];$$

$$A_5 = \frac{k_1}{k_2^2 \cdot k_{\text{жс}}} (\delta_1 - \delta_2) (y - \delta_2) \sin \gamma_1;$$

$$A_6 = \frac{k_1}{k_2^2 \cdot k_{\text{жс}}} (\delta_1 - \delta_2) (\delta_1 - y) \sin \gamma_2;$$

$$A_7 = 2 \frac{k_1}{k_2^2 \cdot k_{oc}} (z_4 - z_3) \cos \Theta \cos \gamma \sin \gamma;$$

$$A_8 = \frac{k_1}{k_2^2 \cdot k_{oc}} R \cdot l_p \cdot c_{oc} \cos^2 \gamma \cos \Theta. \quad (13)$$

После преобразований получим

$$A_1 \dot{\Theta} + A_2 \dot{y} + A_3 \dot{\delta}_1 - A_4 \dot{\delta}_2 + A_5 \dot{\gamma}_1 +$$

$$+ A_6 \dot{\gamma}_2 + A_7 \dot{\gamma} + A_8 \dot{z}_4 + A_8 \dot{z}_3 =$$

$$= k_v \cdot \sqrt{1 - \frac{\Sigma P}{F \cdot P_o}} \cdot \text{sign} \rho \cdot \rho, \quad (14)$$

где  $\dot{z}_4$  и  $\dot{z}_3$  – скорости деформации шин задних колес склонохода (определяются из уравнения диссипативной функции рассматриваемой системы),

$$\dot{z}_3 = \{ \dot{z} + v l_p \sin \gamma \sin \Theta \dot{\gamma} - \dot{v} [(b_1 + l_p \cos \gamma) \times$$

$$\times \sin \psi + \frac{B}{2} \cos \psi] - v \dot{\psi} [(b_1 + l_p \cos \gamma) \cos \psi -$$

$$- \frac{B}{2} \sin \psi] - l_p \cos \gamma \dot{\gamma} - \dot{H}_3 \};$$

$$\dot{z}_4 = \{ \dot{z} + v l_p \sin \gamma \sin \psi \dot{\gamma} - \dot{v} [(b_1 + l_p \cos \gamma) \times$$

$$\times \sin \psi - \frac{B}{2} \cos \psi] - v \dot{\psi} [(b_1 + l_p \cos \gamma) \cos \psi +$$

$$+ \frac{B}{2} \sin \psi] + l_p \cos \gamma \dot{\gamma} - \dot{H}_4 \}. \quad (15)$$

Для угловых скоростей  $\dot{\Theta}$ ,  $\dot{\delta}_1$ ,  $\dot{\delta}_2$ ,  $\dot{\gamma}_1$ ,  $\dot{\gamma}_2$  (см. рис. 1) составляются дополнительные уравнения кинематических связей механизма стабилизации остова склонохода.

Полученная математическая модель исполнительного механизма стабилизации остова склонохода позволяет исследование влияния геометрических параметров шарнирного механизма и характеристик гидропривода на динамику процесса стабилизации остова машины на склоне. Результаты, полученные в данной работе, являются некоторым уточнением уравнений системы стабилизации остова склонохода, приведенных в [3].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Башта, Т. М. Гидропривод и гидропневмоавтоматика / Т. М. Башта. – М. : Машиностроение, 1972. – 320 с.
2. Лурье, А. И. Аналитическая механика / А. И. Лурье. – М. : Физматгиз, 1961. – 824 с.
3. Колесные тракторы для работы на склонах / П. А. Амельченко [и др.]. – М. : Машиностроение, 1978. – 246 с. : ил.

Статья сдана в редакцию 4 мая 2012 года

**Зара Сергеевна Салбиева**, инженер, Горский аграрно-технический университет. E-mail: lms53@mail.ru.  
**Мурат Савкузович Льянов**, д-р техн. наук, проф., Горский аграрно-технический университет.  
 Тел.: 8-107-8672-53-28-84.  
**Игорь Сергеевич Сазонов**, д-р техн. наук, проф., Белорусско-Российский университет.  
 Тел.: 8-0222-26-61-00.  
**Петр Адамович Амельченко**, д-р техн. наук, проф., Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси. Тел.: 8-017-284-15-62.

**Zara Sergeyevna Salbiyeva**, engineer, Gorsky State Agrarian University. E-mail: lms53@mail.ru.  
**Murat Savkuzovich Lyanov**, DSc, Professor, Gorsky State Agrarian University. Tel.: 8-107-8672-53-28-84.  
**Igor Sergeyevich Sazonov**, DSc, Professor, Belarusian-Russian University. Tel.: 8-0222-26-61-00.  
**Petr Adamovich Amelchenko**, DSc, Professor, United Institute of Machine Building of the NAN of Belarus. Tel.: 8-017-284-15-62.