

# **АНАЛИЗ ПОВЕДЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПНУ УЭС 290/450 В РАЗЛИЧНЫХ ВАРИАНТАХ АГРЕГАТИРОВАНИЯ**

**А. Н. Ляховец**

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический  
университет имени П. О. Сухого», Беларусь*

Научный руководитель В. Б. Попов

Подъемно-навесные устройства (ПНУ) являются составной частью таких сложных технических объектов, как сельскохозяйственные, строительно-дорожные и землеройные энергомашинные комплексы. Они предназначены для связи мобильных энергоносителей (тракторов, универсальных энергосредств) с навесными машинами и орудиями. В машинном агрегате, состоящем из ПНУ и навесной машины, ПНУ в свою очередь состоит из гидропривода и механизма навески, закрепленного на раме мобильного энергосредства.

Механизм навески (МН) представляет собой пространственный шарнирно-рычажный механизм. Механизм навески является основным структурным компонентом ПНУ, определяющим характер взаимодействия рамы мобильного энергосредства с навесной машиной (орудием). В проекции на продольную плоскость симметрии машинного агрегата пространственный МН преобразуется в его плоский аналог (рис. 1).

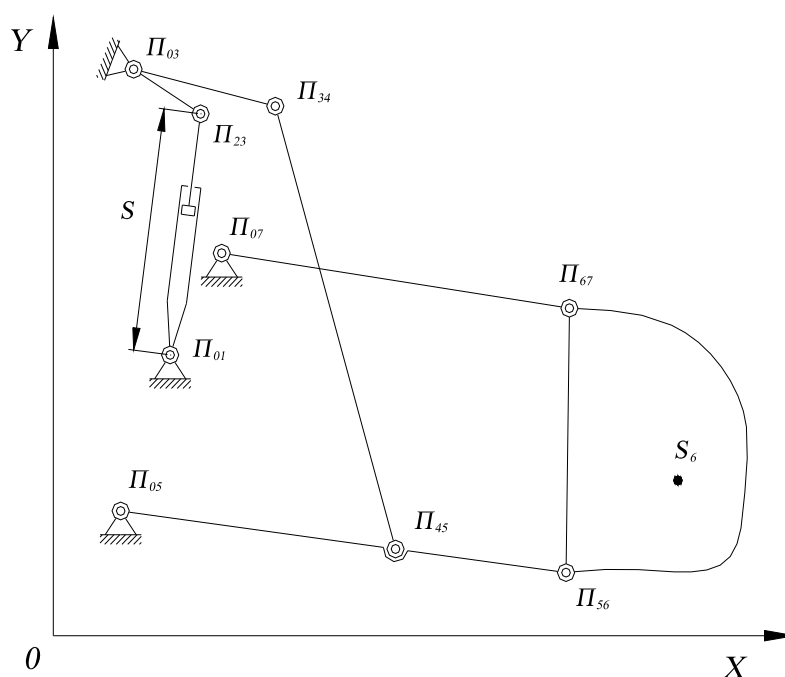


Рис. 1. Структурная схема механизма навески УЭС 290/450

Для анализа выберем навесные орудия, схожие по компоновке и функционалу, но от разного производителя:

- жатка для грубостебельных культур ЖГР-4,5 пр-ва ПО «Гомсельмаш» (Беларусь);
- жатка для грубостебельных культур RU450 пр-ва «CLAAS» (Германия).

В целом адаптеры имеют схожую компоновку, однако некоторые параметры различны и определяют поведение адаптеров в составе УЭС.

### Параметры ПНУ

Навесные орудия	ЖГР-4,5	RU450
Масса, кг	2225	1960
Расстояние от оси подвеса до центра тяжести, [м]	0,75	0,63

В ходе анализа рассчитаем основные параметры ПНУ в двух вариантах агрегатирования.

Выходные координаты четырехзвенника:

$$X_{34}(S) = X_{03} + L_{34} \cdot \cos(\varphi_{34}(S)); \quad Y_{34}(S) = Y_{03} + L_{34} \cdot \sin(\varphi_{34}(S)).$$

Расстояние от оси подвеса механизма навески до центра тяжести комбайна:

$$L_{S6} = \sqrt{X_6^2 + Y_6^2}.$$

Расстояние от центра тяжести комбайна до крепления верхней тяги:

$$L_{56} = \sqrt{((X_{56Sp} + X_6) - X_{67Sp})^2 + ((Y_{56Sp} + Y_6) - Y_{67Sp})^2}.$$

Угол между прямой, соединяющей центр тяжести комбайна, и осью подвеса механизма навески определяется в соответствии с выражением

$$\varphi_{S_6} = -\arccos\left(\frac{L_6^2 + L_{S_6}^2 - L_{RS}^2}{2L_6L_{S_6}}\right).$$

Координаты центра тяжести комбайна:

$$X_{S_6}(S) = X_{S_6}(S) + L_{S_6} \cdot \cos(\varphi_{S_6}(S) + \varphi_6(S));$$

$$Y_{S_6}(S) = Y_{S_6}(S) + L_{S_6} \cdot \sin(\varphi_{S_6}(S) + \varphi_6(S)).$$

На основе представленных аналитических зависимостей можно получить координаты точек  $S_6$  и  $P_{S_6}$ , изменение положения навешиваемого комбайна относительно трактора во время перевода комбайна в транспортное положение.

Кинематические передаточные функции 1-го порядка (передаточные числа) представляют собой аналоги вертикальных составляющих линейных скоростей, определенных в центре тяжести навешиваемого комбайна и на оси подвеса механизма навески:

$$I_m(S) = d\varphi_5(S)L_{S_6} \cdot \cos(\varphi_5(S));$$

$$I_s(S) = I_m(S) + d\varphi_6(S)L_{S_6} \cdot \cos(\varphi_{S_6}(S) + \varphi_6(S)).$$

Дифференциальное уравнение движения машинного агрегата, описывающее динамику подъема адаптера:

$$\begin{cases} \dot{p}_1 = \frac{E_{np}}{V_0 + F_c(S - S_0)} Q - \frac{F_c E_{np}}{V_0 + F_c(S - S_0)} \dot{S}; \\ p_2 = p_1 - (a_1 \ddot{S} + a_2 \dot{S} + a_3 S^2); \\ m(S) \ddot{S} + \frac{1}{2} m'(S) \dot{S}^2 = p_2 F_c - [F(S) + F_{np}^{np}(S)]. \end{cases}$$

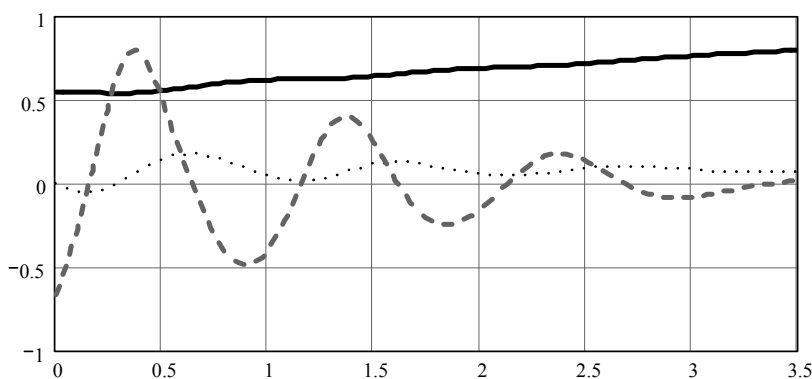


Рис. 2. Закон движения нагруженного поршня гидроцилиндра

Реакции управляемых и ведущих колес на почву:

$$R_a(S) = \frac{P_{\text{гр}}(\alpha + L_b) + P_{\text{тр}}b - P_6 X_{S6}(S)}{L_b};$$

$$R_b(S) = P_{\text{гр}} - P_a(S) + P_{\text{тр}} + P_6.$$

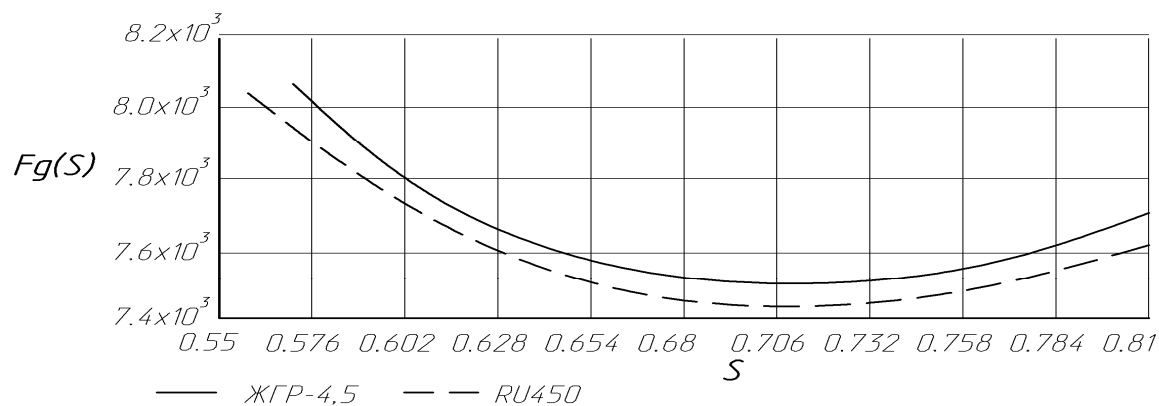


Рис. 3. Изменение нагрузки на гидроцилиндры

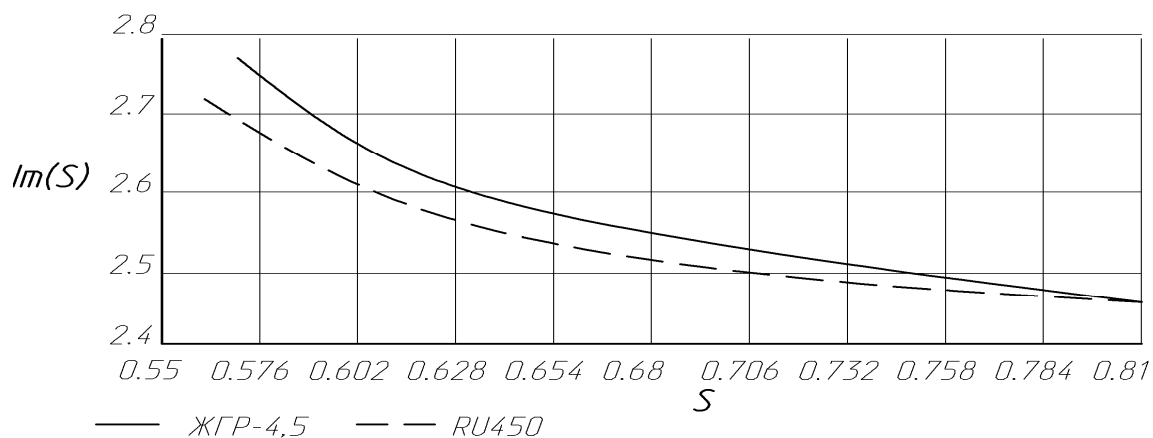


Рис. 4. Изменение коэффициента кинематической передачи

Как видно из графиков, ПНУ ведет себя предсказуемо и стабильно в обоих случаях, что говорит о правильно рассчитанной и продуманной конструкции ПНУ и возможности применения ее в составе с импортными адаптерами.