

УДК 629.114.2

К ВОПРОСУ ОБ АГРЕГАТИРОВАНИИ МОБИЛЬНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ С НАВЕСНОЙ ТЕХНИКОЙ

В. Б. Попов

Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет имени П.О. Сухого»,
г. Гомель, Республика Беларусь

Мобильный машинный агрегат, состоит из мобильного энергетического средства (МЭС) – трактора, универсального энергетического средства (УЭС), фронтального погрузчика и агрегируемой с ним навесной машины (НМ) или орудия. Наличие широкого шлейфа сменного рабочего оборудования позволяют МЭС успешно решать проблему механизации труда в случаях, когда применение специализированных машин нецелесообразно.

Использование в сельском хозяйстве России и Беларуси прогрессивных технологий возделывания и уборки сельскохозяйственных культур с использованием комплексов машин на базе УЭС позволяет заменить в машинно-тракторном парке (МТП) устаревшую технику. При высокой годовой загрузке УЭС (1500 ч и более) снизить материалоемкость МТП в 1,5-1,7 раза, повысить производительность труда на 40-60%, снизить себестоимость сельскохозяйственной продукции на 25-35%, сократить сроки окупаемости затрат в сельском хозяйстве до 1,5-2 лет при снижении стоимости комплексов машин в 2,3-2,7 раза по сравнению с набором заменяемых самоходных уборочных (зерно-кормо-свекло-уборочных) комбайнов [1]. Использование УЭС содействует широкомасштабному применению почвообрабатывающих машин и комбинированных почвообрабатывающе-посевных агрегатов с активными и активно - пассивными рабочими органами, а также других машин отечественного и зарубежного производства.

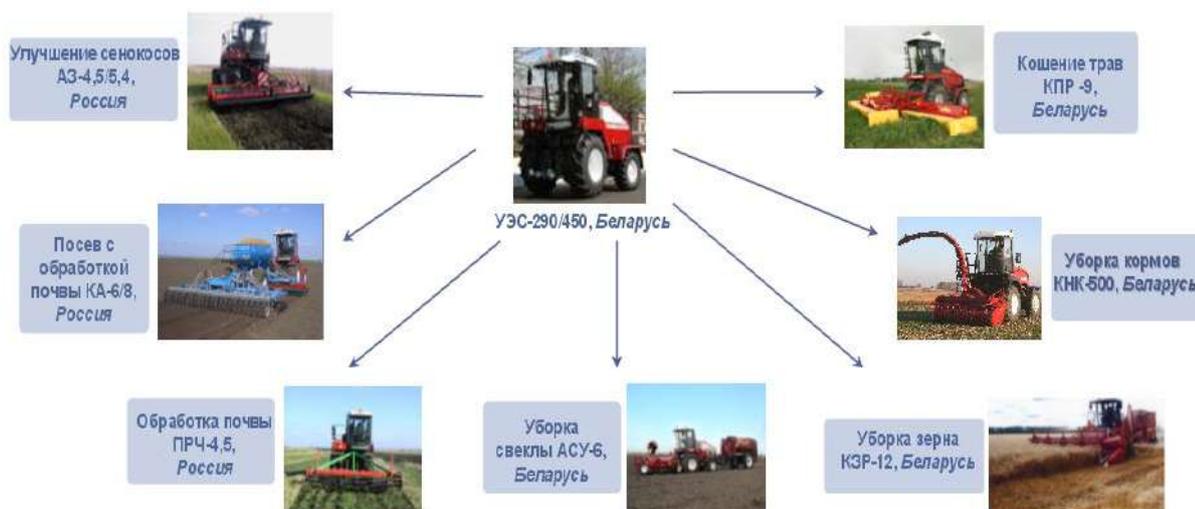


Рис.1 – Агрегатирование УЭС 290/450 с с/х техникой белорусско-русского производства

Агрегатирование МЭС с НМ в каждом конкретном режиме, помимо всего прочего, существенно зависит от выходных параметров подъемно-навесного устройства (ПНУ) МЭС, в основном определяющих количественную оценку и качественный характер агрегатирования.

Подъемно-навесное устройство (ПНУ) как часть универсального энергетического средства (УЭС) функционирует в трех основных режимах [2] - рабочем, транспортном и режиме перевода навесной машины из рабочего положения в транспортное.

Появление в шлейфе навесных машин УЭС тяжелых адаптеров - навесных кормо-, свекло- и зерноуборочных комбайнов весом до 48 кН повысило требования, предъявляемые к грузоподъемности ПНУ и его основному компоненту - МН (рис. 2 а). Для большинства отечественных и зарубежных МН его 2D модель, полученная из 3D модели проецированием центров шарниров МН на продольную плоскость симметрии УЭС, это одноподвижный восьмизвенный шарнирно-рычажный механизм (рис. 2 б).

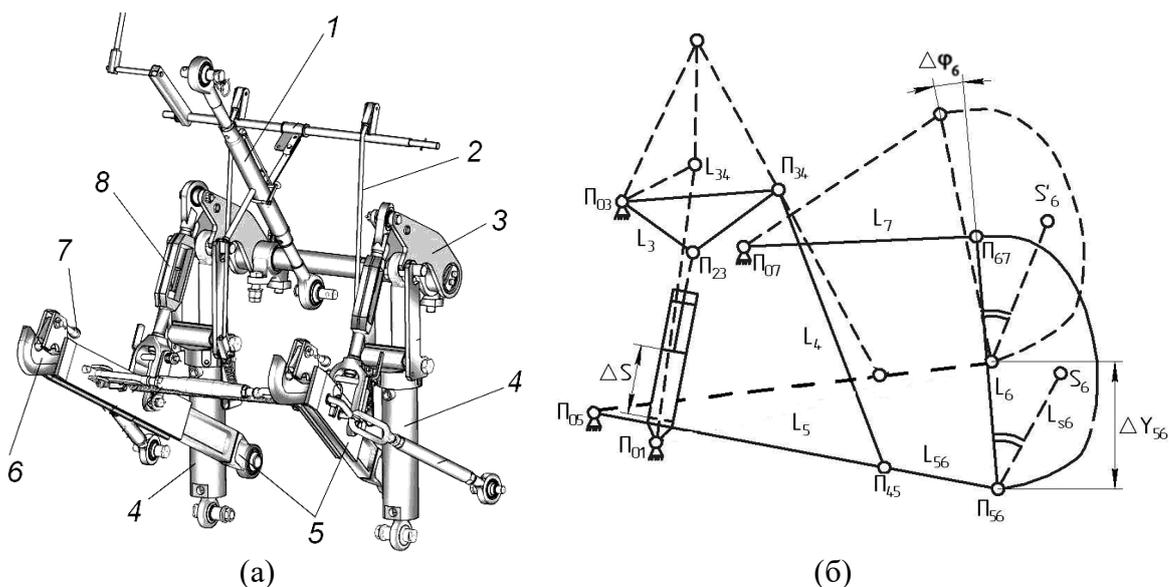


Рис. 2 – Подъемно-навесное устройство (а) и схема плоского аналога механизма навески в рабочем и транспортном положениях (б) 1 – тяга верхняя; 2 - тяга механизма фиксации; 3 – рычаг поворотный; 4 - гидроцилиндры; 5 – тяги нижние; 6 – захват; 7 – ручка фиксатора; 8 – раскос.

Тяги МН через присоединительный треугольник (рис.1а) связаны с НМ, принимаемой за выходное звено МН. Рама УЭС, звенья МН и НМ вместе образуют замкнутую кинематическую цепь. Расчет выходных параметров МН проводится на базе его плоского аналога. Изменение входной координаты (ΔS) МН, однозначно связано с изменением его выходных координат ($\Delta \varphi_6, \Delta Y_{S6}, \Delta X_{S6}$).

Большинство выходных параметров МН определяются в **режиме перевода НМ из рабочего положения в транспортное**. Геометрический анализ замкнутой кинематической цепи выполняется по методу замкнутых векторных контуров [3]. В результате определены координаты подвижных шарниров МН и характерных точек замкнутой кинематической цепи, например, координаты оси подвеса МН - Π_{05} :

$$X_{S6}(S) = X_{05} + L_{S6} \cdot \cos \varphi_5(S) \quad Y_{S6}(S) = Y_{05} + L_{S6} \cdot \sin \varphi_5(S) \quad (1)$$

где, X_{05}, Y_{05} - координаты неподвижного шарнира Π_{05} на раме УЭС; φ_i - угол, образуемый соответствующим звеном, в правой декартовой с. к.

Координаты характерной точки - центра тяжести НМ определяются как:

$$X_{S6}(S) = X_{S6}(S) + L_{S6} \cdot \cos[\varphi_6(S) + \varphi_{S6}] \quad (2)$$

$$Y_{S6}(S) = Y_{S6}(S) + L_{S6} \cdot \sin[\varphi_6(S) + \varphi_{S6}] \quad (3)$$

где L_{S6} и φ_{S6} - характеристики вектора, проведенного от оси подвеса в центр тяжести рабочего орудия.

Аналитические выражения (1-3) представляют собой функции положения звеньев для МН и одновременно необходимы для формирования процедур кинематического и силового анализа.

Передаточное число МН представляет собой аналог вертикальной скорости центра тяжести навесной машины [3], зависящий от внутренних параметров МН и координат центра тяжести навесной машины относительно оси подвеса:

$$I_{S_6}(S) = \varphi'_3 \cdot U_{53} \cdot [L_{56} \cdot \cos \varphi_5 + U_{65} \cdot L_{S_6} \cdot \cos(\varphi_6 + \varphi_{S_6})], \quad (4)$$

где $\varphi'_3(S)$ - аналог угловой скорости поворотного рычага; U_{53} , U_{65} - передаточные отношения, показывающие соотношения угловых скоростей звеньев; $\varphi_5(S)$, $\varphi_6(S)$ - углы, образуемые аналогами звеньев в правой декартовой системе координат.

Первая часть суммы в выражении (4) представляет собой передаточное число МН на оси подвеса, позволяющее сравнивать между собой потенциальные возможности МН ПНУ различных МЭС.

Развиваемая на штоке гидроцилиндра сила зависит от давления в его напорной полости $p_{ци}$, площади поршня F_n и приведенных к штоку сил трения $F_{mp}^{np}(S^\circ)$ и инерции $F_{ум}^{np}(S^\circ)$:

$$F_{ум} = p_{ци} \cdot F_n - [F_{mp}^{np}(S) + F_{ум}^{np}(S)] \quad (5)$$

Понятие грузоподъемности ПНУ УЭС здесь вводится по аналогии с грузоподъемностью ПНУ трактора и определяется весом поднимаемой НМ при максимально развиваемой силе ($F_{ум}^{max}$) на штоке гидроцилиндра МН:

$$G_s = \frac{p_{ци}^{max} \cdot F_n - [F_{mp}^{np}(S^\circ) + F_{ум}^{np}(S^\circ)]}{I_{S_6}(S^\circ)} \quad (6)$$

где S° - значение обобщенной координаты соответствующее максимальному значению передаточного числа МН.

Из выражения (6) следует, что для повышения грузоподъемности ПНУ за счет внутренних параметров МН следует уменьшать максимальное значение передаточного числа $I_{S_6}(S)$, величина которого связана с расположением центра тяжести конкретной НМ. Одновременно, как это следует из выражения (4), рекомендуется уменьшать и передаточное число на оси подвеса, зависящее только от внутренних параметров МН.

В режиме транспортного переезда для расчёта параметра управляемости МЭС составляется уравнение равновесия моментов сил, действующих на МТА относительно точки опоры ведущих колес:

$$\sum M_B = P_{гр} \cdot (a + L) + P_{МЭС} \cdot b - P_6 \cdot X_{S_6} - R_A \cdot L = 0$$

где: $P_{гр}$ - вес противовеса, $P_{МЭС}$ - вес МЭС, P_6 - вес навесной машины, L - база МЭС, a и b - расстояние от вертикальной проекции центра тяжести УЭС до вертикальных проекций центра тяжести противовеса и оси моста ведущих колес соответственно.

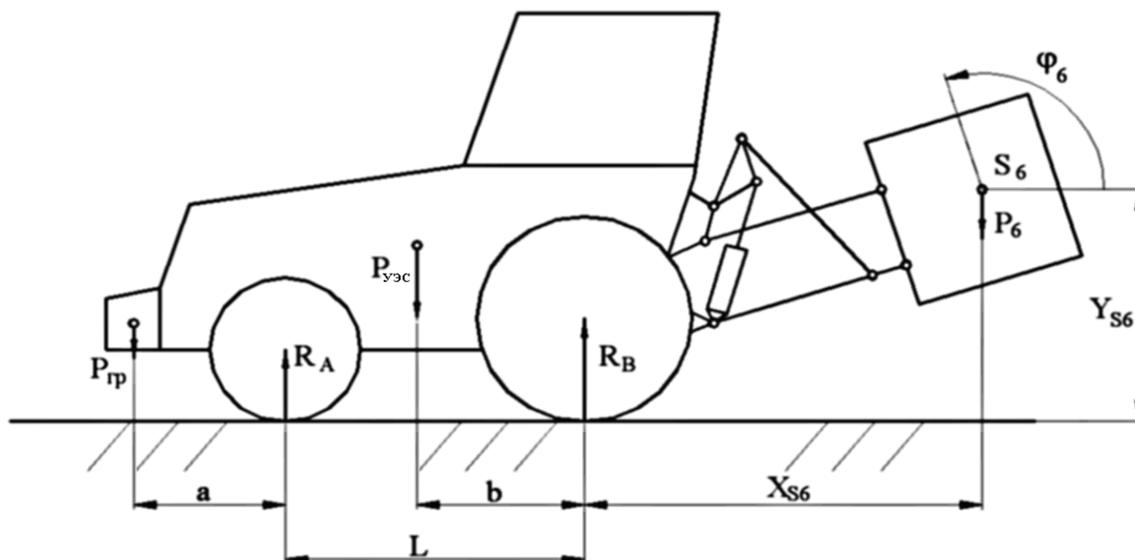


Рис. 3 – Схема сил, действующих на МТА при поднятой навесной машине

Решив уравнение моментов сил, относительно реакции на управляемом колесе - R_A получим:

$$R_A = \frac{P_{уп} \cdot (a + L) + P_{МЭС} \cdot b - P_6 \cdot X_{S6}}{L}$$

Вместе с вышеупомянутым ограничением получим систему из уравнения и неравенства:

$$\begin{cases} R_A = \frac{P_{МЭС} \cdot b - P_6 \cdot X_{S6} + P_{уп} \cdot (L + a)}{L} \\ R_A \geq k \cdot (P_{МЭС} + P_6 + P_{уп}) \end{cases} \quad (7)$$

Решив систему (7) получим условие соблюдения управляемости МТА, которое состоит в ограничении веса, агрегируемой с МЭС навесной машины или рабочего орудия:

$$P_6 \leq \frac{P_{МЭС} \cdot (b - k \cdot L) + P_{уп} \cdot [a + L \cdot (1 - k)]}{X_{S6} + k \cdot L} \quad (8)$$

В режиме транспортного переезда МТА из-за кинематического возбуждения со стороны микрорельефа [4] центры тяжести МЭС и навесной машины совершают сложные колебания в продольной плоскости, получая ускорения, вызванные контактированием колес МЭС с соответствующим агрофоном:

$$P_6^* = P_6 \pm m_6 \cdot \ddot{Y}_{S6} \quad (9)$$

При этом исходная нагрузка P_6^* , передающаяся на тяги МН также приобретает вероятностный колебательный характер, что приводит к переменному характеру силового воздействия на раму МЭС и

перераспределению нормальных реакций между передним и задним мостами МЭС.

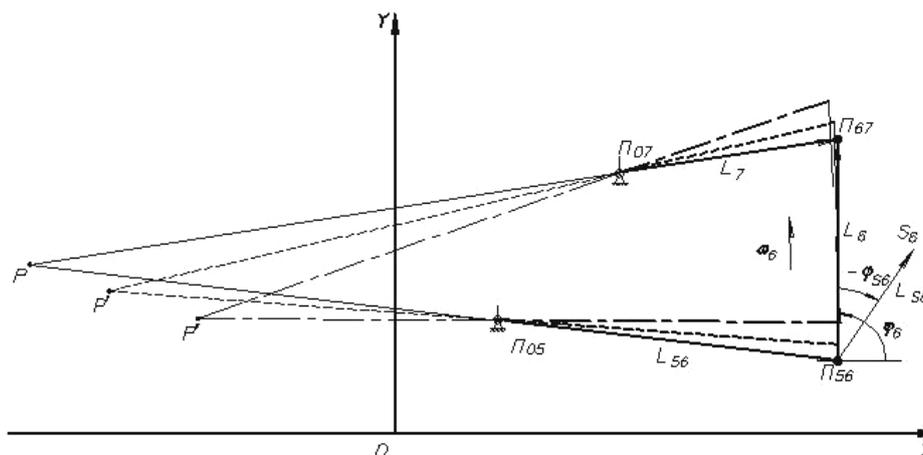


Рис. 4 – Схема движения внешнего четырехзвенника МН и МЦВ выходного звена

Многочисленными теоретическими [3] и экспериментальными исследованиями установлена важность расположения P_1 и P – мгновенных центров вращения (МЦВ) навесных машин в продольно-вертикальной плоскости (рис.4) **в рабочем режиме**. Точка P находится на пересечении линий, являющихся продолжением верхней и нижней тяг МН.

$$X_p = \frac{(Y_{56} \cdot X_{05} - Y_{05} \cdot X_{56}) \cdot (X_{07} - X_{67}) - (X_{05} - X_{56}) \cdot (Y_{67} \cdot X_{07} - Y_{07} \cdot X_{67})}{(Y_{07} - X_{67}) \cdot (X_{05} - X_{56}) - (X_{07} - X_{67}) \cdot (Y_{05} - Y_{56})} \quad (10)$$

Положение МЦВ оказывает влияние на способность рабочих органов НМ к заглублению в почву без принудительного воздействия. Поэтому координата X_p должна быть выбрана таким образом, чтобы момент, создаваемый внешними силами относительно точки P , при любых условиях работы имел положительное значение.

Заключение Расширение шлейфа навесного рабочего оборудования за счет зарубежных НМ позволяют МЭС успешно решать проблему механизации труда в составе новых мобильных машинных агрегатов. Это косвенно способствует распространению как иностранной техники в Беларуси, так и отечественных МЭС зарубежом. При этом для оценки возможности агрегатирования белорусских МЭС с иностранными НМ необходимо, как минимум, выполнить расчеты по выражениям (4-6, 8-10).

ЛИТЕРАТУРА

1. Марченко О. С. Комплексы уборочных и почвообрабатывающих машин и комбинированных агрегатов на базе универсальных мобильных энергосредств мощностью 200-450 л.с. Инновационные технологии в агропромышленном комплексе - сегодня и

завтра : сб. тезисов докладов 2-ой междунар. науч.-практ. конф., 4-5 окт. 2018 г. - Гомель, 2018. - С. 93-98.

2. Попов В. Б. Анализ режимов работы подъемно-навесного устройства универсального энергетического средства УЭС–290/450 «Полесье» / В. Б. Попов // Актуальные вопросы машиноведения : сб. науч. тр. / Объед. ин-т машиностроения НАНБ ; редкол.: А. А. Дюжев [и др.]. – Минск, 2012. – Вып. 1. – С. 99–102.

3. Математическое моделирование подъемно-навесных устройств мобильных энергетических средств / В. Б. Попов. – Гомель: ГГТУ им. П. О. Сухого, 2016. – 251 с. : ил. – ISBN 978-985-535-315-8.

4. Попов В. Б. Влияние колебаний мобильного сельскохозяйственного агрегата на его управляемость и нагруженность звеньев механизма навески / В. Б. Попов // Вестник Брянской ГСХА – 2017. №6. - С. 43-51.

5. Попов В. Б. Обеспечение грузоподъемности подъемно-навесного устройства мобильного энергетического средства / В.Б. Попов // Инновационные решения проблем экономики знаний Беларуси и Казахстана: сборник материалов науч-практич. конф., Минск, БНТУ, 2016. – С. 224-226.