

## ВЛИЯНИЕ СЖИМАЕМОСТИ РАБОЧЕЙ ЖИДКОСТИ НА ДИНАМИКУ ГИДРОПРИВОДА ЛЕСОПОГРУЗЧИКА

Мандраков Е.А.

научный руководитель канд. техн. наук Никитин А.А.

*Сибирский федеральный университет*

Динамическая математическая модель движения стрелы и поворотного основания челюстного лесопогрузчика перекидного типа ЛТ-188, позволяет на стадии проектирования определить влияние различных факторов на характер движения навесного оборудования.

Закон движения механизма машинного агрегата формируется под действием сил, приложенных к его звеньям. Прежде всего, это движущие силы и силы сопротивления, а также силы тяжести и многие другие. Характер действия сил может быть разным: некоторые из них зависят от положения звеньев механизма, а другие – от их скорости, силы могут быть и постоянными.

Выполнив приведение сил и масс, любой механизм с одной степенью свободы (рычажный, зубчатый, кулачковый и др.), сколь бы сложным он ни был можно заменить его динамической моделью. Эта модель в общем случае имеет переменный приведенный момент инерции  $J_{\Sigma}^{np}$ , и к ней приложен суммарный приведенный момент  $M_{\Sigma}^{np}$ . Закон движения модели такой же, как и закон движения начального звена механизма. Основой для составления уравнения движения механизма с одной степенью свободы служит теорема об изменении кинетической энергии:

$$T - T_{нач} = A_{\Sigma}.$$

Работу совершают все активные силы, моменты и силы трения во всех кинематических парах механизма.

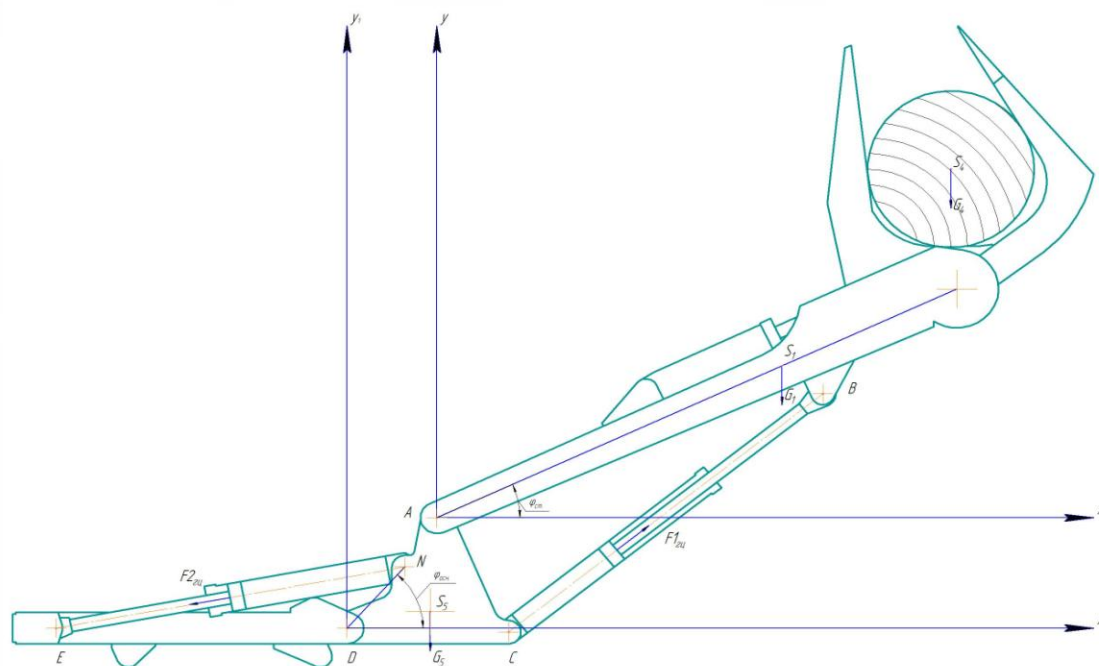


Рис. 1. Модель стрелы и поворотного основания челюстного лесопогрузчика перекидного типа ЛТ-188.

Составим математическую модель движения стрелы и поворотного основания (рис. 1). Изменение приведенного момента инерции найдем из уравнения движения в энергетической форме:

$$\frac{J_{\Sigma}^{np} \omega_1^2}{2} - \frac{J_{\Sigma_{нач}}^{np} \omega_{1нач}^2}{2} = \int_{\varphi_{1нач}}^{\varphi_1} M_{\Sigma}^{np} d\varphi_1$$

Продифференцируем по координате  $\varphi_1$ :

$$\frac{d}{d\varphi_1} \left( \frac{J_{\Sigma}^{np} \omega_1^2}{2} \right) = M_{\Sigma}^{np}$$

Определим производную, стоящую в левой части уравнения, помня, что в общем случае переменной величиной является не только угловая скорость  $\omega_1$ , но и  $J_{\Sigma}^{np}$ . В итоге получим:

$$J_{\Sigma}^{np} \frac{d\omega_1}{d\varphi_1} + \frac{1}{2} \frac{dJ_{\Sigma}^{np}}{d\varphi_1} \omega_1^2 = M_{\Sigma}^{np}$$

Это и есть уравнение движения в дифференциальной форме, поскольку искомая переменная величина – угловая скорость  $\omega_1$  начального звена механизма – стоит под знаком производной.

Для исследования влияния сжимаемости рабочей жидкости на динамику гидропривода лесопогрузчика, составим уравнения движения стрелы и поворотного основания без учета сжимаемости рабочей жидкости, а также с учетом сжимаемости рабочей жидкости:

- без учета сжимаемости рабочей жидкости

$$\begin{aligned} M_{ГЦ.ст.} - M_{Гсс.} &= J_{np.ст.} \cdot \frac{d\omega_{ст.}}{dt} + \frac{\omega_{ст.}^2}{2} \cdot \frac{dJ_{np.ст.}}{d\varphi_{ст.}} \\ Q_0 - Q_{y.ст.} - Q_{к.ст.} - Q_{1ст.} &= 0 \\ Q_{2ст.} - Q_{сл.ст.} &= 0 \\ M_{ГЦ.осн.} - M_{Гоос.} &= J_{np.осн.} \cdot \frac{d\omega_{осн.}}{dt} + \frac{\omega_{осн.}^2}{2} \cdot \frac{dJ_{np.осн.}}{d\varphi_{осн.}} \\ Q_0 - Q_{y.осн.} - Q_{к.осн.} - Q_{1осн.} &= 0 \\ Q_{2осн.} - Q_{сл.осн.} &= 0 \end{aligned}$$

- с учетом сжимаемости рабочей жидкости

$$\begin{aligned} M_{ГЦ.ст.} - M_{Гсс.} &= J_{np.ст.} \cdot \frac{d\omega_{ст.}}{dt} + \frac{\omega_{ст.}^2}{2} \cdot \frac{dJ_{np.ст.}}{d\varphi_{ст.}} \\ Q_0 - Q_{y.ст.} - Q_{к.ст.} - Q_{1ст.} &= Q_{сж1ст.} \\ Q_{2ст.} - Q_{сл.ст.} &= Q_{сж2ст.} \\ M_{ГЦ.осн.} - M_{Гоос.} &= J_{np.осн.} \cdot \frac{d\omega_{осн.}}{dt} + \frac{\omega_{осн.}^2}{2} \cdot \frac{dJ_{np.осн.}}{d\varphi_{осн.}} \\ Q_0 - Q_{y.осн.} - Q_{к.осн.} - Q_{1осн.} &= Q_{сж1осн.} \\ Q_{2осн.} - Q_{сл.осн.} &= Q_{сж2осн.} \end{aligned}$$

Для расчета в программе MathCAD системы уравнений нужно представить в форме Коши:

- без учета сжимаемости рабочей жидкости

$$\frac{d\varphi_{cm.}}{dt} = \omega_{cm.}$$

$$\frac{d\omega_{cm.}}{dt} = \frac{1}{J_{np.cm.}} \cdot \left( M_{ГЦ.cm.} - M_{Gcc.} - \frac{\omega_{cm.}^2}{2} \cdot \frac{dJ_{np.cm.}}{d\varphi_{cm.}} \right)$$

$$\frac{d\varphi_{осн.}}{dt} = \omega_{осн.}$$

$$\frac{d\omega_{осн.}}{dt} = \frac{1}{J_{np.осн.}} \cdot \left( M_{ГЦ.осн.} - M_{Gooc.} - \frac{\omega_{осн.}^2}{2} \cdot \frac{dJ_{np.осн.}}{d\varphi_{осн.}} \right)$$

- с учетом сжимаемости рабочей жидкости

$$\frac{d\varphi_{cm.}}{dt} = \omega_{cm.}$$

$$\frac{d\omega_{cm.}}{dt} = \frac{1}{J_{np.cm.}} \cdot \left( M_{ГЦ.cm.} - M_{Gcc.} - \frac{\omega_{cm.}^2}{2} \cdot \frac{dJ_{np.cm.}}{d\varphi_{cm.}} \right)$$

$$\frac{dp_{1cm.}}{dt} = \frac{E_{ж1}}{W_{1cm.} + 2 \cdot S_{1cm.} \cdot y_{n.cm.}} \cdot \left( Q_0 - Q_{y.cm.} - Q_{к.cm.} - Q_{1cm.} \right)$$

$$\frac{dp_{2cm.}}{dt} = \frac{E_{ж2}}{W_{2cm.} - 2 \cdot S_{2cm.} \cdot y_{n.cm.}} \cdot \left( Q_{2cm.} - Q_{сл.cm.} \right)$$

$$\frac{d\varphi_{осн.}}{dt} = \omega_{осн.}$$

$$\frac{d\omega_{осн.}}{dt} = \frac{1}{J_{np.осн.}} \cdot \left( M_{ГЦ.осн.} - M_{Gooc.} - \frac{\omega_{осн.}^2}{2} \cdot \frac{dJ_{np.осн.}}{d\varphi_{осн.}} \right)$$

$$\frac{dp_{1осн.}}{dt} = \frac{E_{ж1}}{W_{1осн.} + 2 \cdot S_{1осн.} \cdot y_{n.осн.}} \cdot \left( Q_0 - Q_{y.осн.} - Q_{к.осн.} - Q_{1осн.} \right)$$

$$\frac{dp_{2осн.}}{dt} = \frac{E_{ж2}}{W_{2осн.} - 2 \cdot S_{2осн.} \cdot y_{n.осн.}} \cdot \left( Q_{2осн.} - Q_{сл.осн.} \right)$$

Определив зависимости всех величин, которые входят в математические модели и зависят от угла подъема стрелы и поворота основания, подставим их в матрицу уравнений. В результате получим системы уравнений в матричной форме для расчета в программе MathCAD.

Полученные математические модели позволяют рассчитать законы движения стрелы и поворотного основания без учета и с учетом сжимаемости рабочей жидкости, а также исследовать влияние различных факторов на характер движения навесного оборудования.

На рис. 2 приведены результаты расчетов движения стрелы и поворотного основания, без учета сжимаемости и с учетом сжимаемости рабочей жидкости.

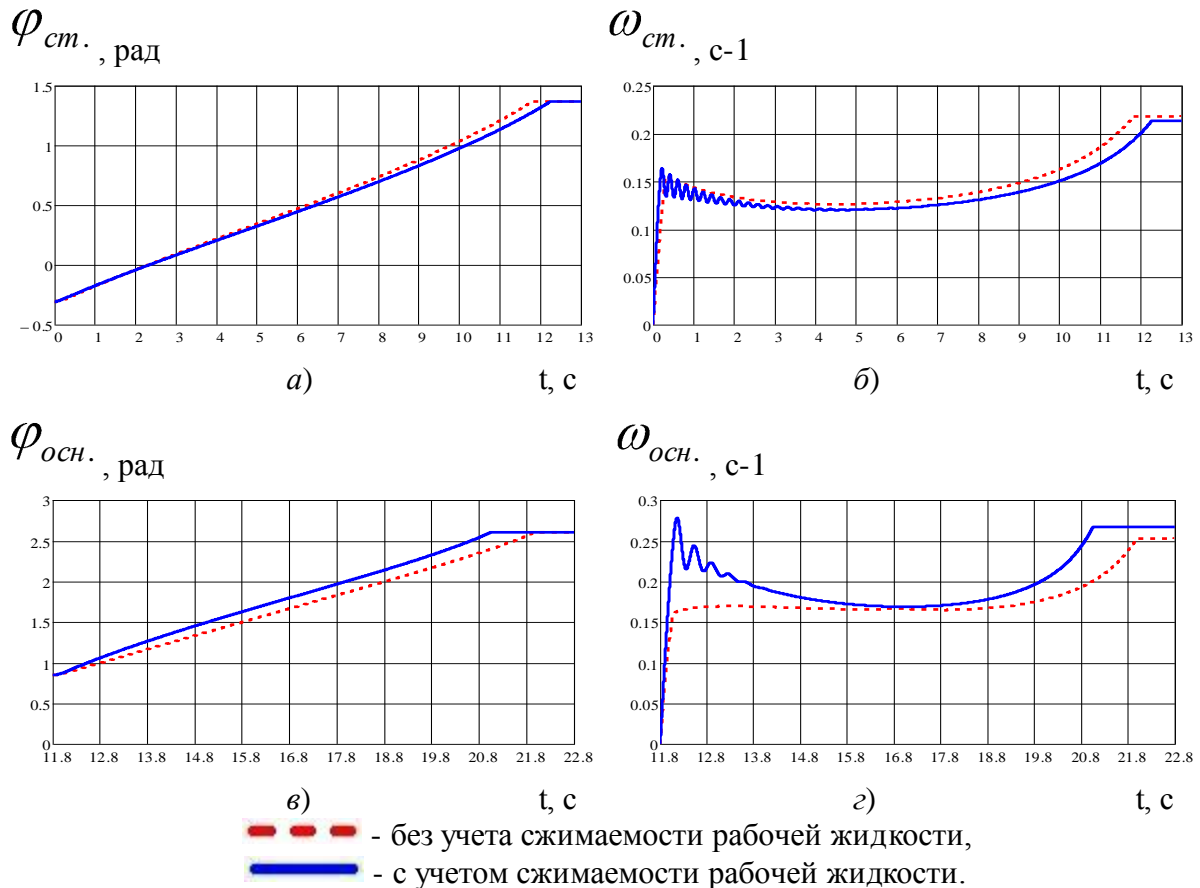


Рис. 2. Зависимости угла поворота и угловой скорости стрелы (а и б) и поворотного основания (в и г) от времени.

Из графиков можно сделать следующие выводы:

- без учета сжимаемости рабочей жидкости

угол подъема стрелы монотонно возрастает почти по линейному закону; угловая скорость стрелы в начале движения резко возрастает, потом происходит плавный спад до локального минимума, который сменяется плавным подъемом до максимума (рис. 2, а и б). То же самое происходит с поворотом основания. Угол поворота основания монотонно возрастает практически по линейному закону; угловая скорость в начале движения резко возрастает, потом происходит незначительный спад, затем плавный подъем до максимума (рис. 2, в и г).

- с учетом сжимаемости рабочей жидкости

закон изменения угла подъема стрелы также близок к линейному, но имеет менее крутой характер; в изменении угловой скорости стрелы проявляется колебательный характер (рис. 2, а и б). Закон изменения угла поворота основания, также близок к линейному, но имеет более крутой характер; угловая скорость основания в начале движения достигает максимального значения, затем происходит спад, который вначале сопровождается колебательным процессом, переходящим в плавный монотонный спад, после достижения локального минимума угловая скорость плавно возрастает (рис. 2, в и г).

Угловая скорость стрелы имеет меньшие значения, чем значения угловой скорости без учета сжимаемости жидкости (рис. 2, б). Угловая скорость основания имеет большие значения, чем значения угловой скорости без учета сжимаемости жидкости, при этом наибольшее отличие проявляется в начале и в конце движения (рис. 2, г).