



УДК 62 – 82

Лурье З.Я., д.т.н., проф., Панченко А.И., д.т.н., проф., Цента Е.Н., к.т.н., ассист.

1 – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»,

г. Харьков, Украина

2 – Таврический государственный агротехнологический университет, г. Мелитополь, Украина

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ДИНАМИЧЕСКОЙ

КОМПЕНСАЦИИ КОЛЕБАНИЙ В МЕХАТРОННЫХ ГИДРОАГРЕГАТАХ

С появлением мехатронных гидроагрегатов (МГА) появилась возможность приступить к решениям проблем, связанным зачастую с большими трудностями либо ранее вовсе не подлежащие решению. В первую очередь это следует отнести к колебаниям скорости подвижных элементов и пульсациям давлений рабочей жидкости в различных точках МГА за счет больших инерционных масс и объемов сжимаемой рабочей жидкости (РЖ). В качестве объекта исследования рассматривается рабочий процесс мехатронного гидроагрегата навесного оборудования (МГА НО) сельскохозяйственного трактора.

Получена усовершенствованная нелинейная математическая модель динамики МГА в режиме подъема НО с учетом нелинейностей гидроустройств, переменностей коэффициентов расходов в функции числа Рейнольдса, приведенных модулей упругости двухфазной РЖ и др. представлена системой из 12 дифференциальных уравнений первого порядка (из которых 7 – нелинейные) в нормальной форме Коши.



Результаты анализа последних исследований показали, что при проектировании МГА можно обеспечить существенное снижение колебаний, возникающих при работе мобильных машин, путем синтеза корректирующих устройств.

Предложенный метод динамической компенсации колебаний для нелинейных систем (МГА является такой системой), основан на синтезе корректирующего устройства (КУ), структура и модель которого представлена суммой передаточных функций (ПФ) дифференцирующих звеньев 3, 2, 1 и нулевого порядка. Каждое слагаемое умножается на передаточную функцию звена 3 порядка. Многопараметрической оптимизацией 4 варьируемых коэффициентов ($K_1 - K_4$) дифференцирующих звеньев завершается синтез КУ.

Возникает вопрос о критерии, который бы явно при оптимизации влиял на отклонения как модельной скорости $v_z(t)$ штока ГЦ (и фактически НО) от желаемой (эталонной) $v_{ЖЕЛ}(t)$ скорости, так и давления p_1 относительно установившегося его значения $p_{уст}$. В этом случае критерий можно представить выражением

$$I = \left(\frac{\int_0^{t_K} |v_z(t) - v_{ЖЕЛ}(t)| dt}{\int_0^{t_K} v_z(t) dt} + \int_0^{t_K} \Delta p(t) dt \right) \cdot 100, \% \rightarrow \min, \quad (1)$$

$$\text{где } \Delta p(t) = \begin{cases} 0 & \text{при } p_1(t) \leq p_{уст}, \\ \frac{p_1(t) - p_{уст}}{p_{уст}} & \text{при } p_1(t) > p_{уст}. \end{cases}$$

Обозначим слагаемые формулы (1) соответственно через I_v и I_p . Значения $p_{уст}$ и время выхода на установившееся движение для каждого веса НО будет различным.

Проведенные численные эксперименты по оценке выбора критериев синтеза показали, что основная динамическая компенсация колебаний и



пульсаций давления p_1 осуществляется по критерию I_v , представляющему собой отношение интеграла модуля разности модельной и эталонной скоростей навесного оборудования к интегралу эталонной (желаемой) скорости за время переходного процесса. При синтезе КУ по критерию I со слагаемым по давлению РЖ в нагнетательной магистрали улучшения компенсации практически не существенны: первая амплитуда не скомпенсированных колебаний по критерию без давления осталась без изменений, а вторая и третья амплитуды уменьшились на 1 – 2,5 % в зависимости от нагрузки.

При синтезе КУ и вводе его в модель МГА можно наблюдать при разной нагрузке и разных значениях газовой составляющей в РЖ и др. различие в динамической компенсации колебаний. Здесь нужно учитывать следующее: $v_{\text{ЖЕЛ}}$ представляет собой монотонную кривую без колебаний. С другой стороны, например, кривая $v_z(t)$, полученная при моделировании МГА при подъеме НО весом 5000 Н без КУ, имеет для этого веса наибольшую колебательность $v_z(t) - v_{\text{ЖЕЛ}}(t)$. При вводе КУ в МГА с НО весом 5000 Н колебания существенно снизились.

Кривые $v_z(t)$ (обозначим их через $v_{zc}(t)$), полученные при моделировании МГА с синтезированными КУ для различных нагрузок, при различных значениях m_0 газосодержания двухфазной РЖ и др. остаются кривыми, с меньшим числом колебаний, с уменьшенными амплитудами, но с оставшимися колебаниями. Если найти разность кривых $v_{zc}(t)$ и $v_{\text{ЖЕЛ}}(t)^*$, где временное смещение $v_{\text{ЖЕЛ}}$ обеспечивает совпадение начала отсчета этих кривых, то получим кривую оставшихся, не скомпенсированных, исходных колебаний. Такую кривую скорости обозначим через $v_{\text{НК}}(t)$. Тогда $v_{zc}(t)$ можно представить суммой двух слагаемых $v_{\text{ЖЕЛ}}(t)^* + v_{\text{НК}}(t)$, а выражение

$$I_c = \int_0^{t_k} |v_{zc}(t) - v_{\text{ЖЕЛ}}(t)^*| dt = \int_0^{t_k} |v_{\text{НК}}(t)| dt \quad (3)$$



рассматривать, как оставшуюся колебательность, в виде длины отрезка несущего эту информацию.

Здесь $v_{\text{ЖЕЛ}}(t)^*$ – смещенная желаемая кривая, у которой начало движения равно кривой $v_{\text{ЗС}}(t)$. Аналогично поступим с моделируемой исходной кривой v_z (в МГА без КУ), записывая выражение

$$I_{\text{БК}} = \int_0^{t_k} |v_z(t) - v_{\text{ЖЕЛ}}(t)^{**}| dt = \int_0^{t_k} |v_{\text{БК}}(t)| dt, \quad (4)$$

где $v_{\text{ЖЕЛ}}(t)^{**}$ – смещенная желаемая кривая, у которой начало движения совпадает с кривой $v_z(t)$; $v_{\text{БК}}(t)$ – кривая, в которой содержится вся исходная колебательность.

За степень динамической компенсации колебаний в МГА можно принять показатель вида

$$K_{\text{ДК}} = \frac{I_{\text{БК}} - I_{\text{С}}}{I_{\text{БК}}} \cdot 100, \% \quad (5)$$

Сформулированные теоретические и практические аспекты решения проблемы динамической компенсации колебаний и полученные результаты на примере мехатронного гидроагрегата навесного оборудования трактора открывают возможность постановки и решения этой проблемы для других мобильных машин и оборудования общепромышленного назначения.