



Міжнародна науково-технічна конференція "Гідроаеромеханіка в інженерній практиці"  
Секція 2

"Гідропневмоприводи системи механотроніки"

**УДК 621.224**

**Лурье З.Я., д.т.н., проф., Гасюк А.И., к.т.н., доц., Булгаков В.А., к.т.н., доц.,**

**Цехмистро Л.Н., к.ф.н., доц., Цента Е.Н., к.т.н., ассист.**

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»,

г. Харьков, Украина

## **РАБОЧИЙ ПРОЦЕСС МЕХАТРОННОГО ГИДРОПРИВОДА РАБОЧЕГО КОЛЕСА ПОВОРОТНОЛОПАСТНОЙ ГИДРОТУРБИНЫ И ПУТИ ЕГО УЛУЧШЕНИЯ**

В мировой и отечественной практике создания гидротурбинного оборудования в части управления определилась тенденция внедрения более совершенных гидроустройств, средств вычислительной техники, включая ЭВМ. Такое развитие направлено на обеспечение возрастающих требований к техническому уровню и к эксплуатации гидротурбин. Это позволяет существенно сократить количество гидроаппаратов, механических элементов (тросов, рычагов, кулачков и др.) и передать их функции электротехническим устройствам, управляющей электронике, программному обеспечению ЭВМ. Появилась возможность разрабатывать мехатронные системы с улучшенными динамическими характеристиками.

Результаты анализа последних публикаций показали, что обеспечение современных высоких технических требований к рабочему процессу мехатронного гидропривода рабочего колеса (МГП РК) для поворота лопастей поворотнлопастной гидротурбины, его улучшению продолжает оставаться актуальной задачей. Ее решение связано не только с улучшением технических характеристик электро- и гидрооборудования, но и с существенным



пересмотром формирования законов в устройствах управления, входящих в состав МГП, на базе достижений теории автоматического управления, методов синтеза, оптимизации и вычислительной техники.

Рассмотрен вопрос, связанный с определением силы сопротивления  $F_{c,CM}$  движению поршня СМ с кривошипно-шатунным механизмом поворота лопастей. Знание близкой к реальности силы сопротивления движению поршня сервомотора повышает адекватность моделирования МГП РК натурным испытаниям.

Выполненное исследование динамики МГП РК в целом, как двухконтурной системы, показало необходимость ввода в цепь управления двух ПИД-регуляторов с изодромным дифференцирующим каналом (один для внутреннего контура, второй – для внешнего контура) с целью обеспечения требуемых динамических характеристик разворота и сворачивания лопастей на максимальный угол, различный для разных рабочих колес.

Если закон управления построен с постоянным коэффициентом усиления величины рассогласования ( $K_{\pi} = 20$ ), то при заданиях перемещения штока СМ (поворота лопастей) 80 мм (19,5 % максимального) и меньше, величина  $\Delta$  существенно превышает  $\pm 0,75$  мм. Решение этой задачи (обеспечение точности в установившемся режиме после окончания переходного процесса) возможно на основе синтеза корректирующего устройства (КУ) и ввода его в состав МГП.

Очень важным требованием к МГП РК является обеспечение малых перемещений штока СМ (малых поворотов лопастей), при которых фактические положения штока СМ от заданных значений не должны превышать величину  $\Delta = \pm 0,75$  мм. В режиме малых перемещений МГП РК работает значительную часть времени, обеспечивая поддержание работы ПЛГ в оптимальном режиме при изменении напора и мощности.

Для каждого заданного малого перемещения с помощью всей математической модели МГП РК решается оптимизационная задача поиска



значения коэффициента усиления  $K_{II}$  величины рассогласования (предполагается использовать в качестве КУ пропорциональный канал ПИД), при котором доставляется минимум критерию оптимизации  $\varepsilon_i$ , представляющему собой модуль величины разности заданного значения положения СМ и значения моделируемого положения СМ на участке установившегося движения.

Оптимизация выполнялась вручную методом проб и ошибок. Полученная синтезированная нелинейная зависимость, как кривая изменения коэффициента усиления рассогласования, вводится в программное обеспечение компьютерной системы для соответствующего ввода в пропорциональный канал ПИД, превращая его в КУ.

Рассмотрены динамические характеристики МГП, которые отражают разворот лопастей с начального углового положения (например,  $-14^0$  или  $x_{CM} = 0$ ), выход на заданный угол (в принципе любой, но возьмем не малый), а затем поступает сигнал на малый дополнительный угол (порядка 1 % от диапазона поворота лопасти, т.е. на угол  $0,37^0$  (для  $x_{CM} = 4,1$  мм)) для компенсации внешнего возмущения (напора или мощности или того и другого одновременно). Колебания в конце отработки заданного сигнала вызваны: большим коэффициентом усиления, небольшим значением силы сопротивления  $F_{c,CM}$  и состоянием двухфазной РЖ. Решение устранения колебаний, основано на вводе жесткой обратной связи по скорости  $v_{CM}$ . При вводе в модель устройства управления МГП обратной отрицательной связи по скорости с коэффициентом 6 Вc/м наблюдается значительное снижение колебаний  $x_{CM}$ .

Рассмотрены динамические характеристики для трех малых перемещений: 4,1 мм (1 % максимального перемещения  $x_{CM,MAX} = 410$  мм), 8,2 мм (2 %) и 12,3 мм (3 %) при газосодержании  $m_0 = 0,025$ . Для каждой кривой  $x_{CM}$  определено значение критерия  $\varepsilon$ , которое существенно меньше допустимого.



Оценено влияние двухфазной РЖ на рабочий процесс МГП РК в режиме малых перемещений на примере заданного перемещения  $x_{зсм} = 12,3$  мм (3 % от  $x_{см,MAX} = 410$  мм) при различном газосодержании  $m_0$ . При  $m_0 = 0,025$  выход на установившееся движение осуществляется без колебаний за время 2,5 с; при  $m_0 = 0,075$  процесс не колебательный, но и не монотонный; при  $m_0 = 0,1$  появляется одно колебание с выходом на установившееся движение; при  $m_0 = 0,12$  движение становится затухающим колебательным с выходом на установившееся движение через 5,2 с.

Причиной, приводящей к колебательному процессу при отработке малых перемещений (относительно нулевого начала) с ростом  $m_0$  (помимо большого значения  $K_D$ ) является малая нагрузка в начале разворота лопастей (сила  $F_{с.см}$ ). С ростом  $F_{с.см}$  до значения 2500 кН и  $m_0 = 0,12$  число колебаний уменьшилось, а при  $F_{с.см} = 5000$  кН и  $m_0 = 0,12$  кривая  $x_{см}$  стала практически монотонной.

Учитывая, что МГП РК является мехатронной системой, то при отработке малых перемещений  $x_{см}$  только в интервале (4,1 – 16,4 мм) можно программно изменить коэффициент обратной связи по скорости с 6 до 20 Вc/м и обеспечить приемлемый динамический процесс.

Начиная с малого перемещения от 20,5 до максимального 410 мм, коэффициент обратной связи по скорости остается постоянным равным 6 Вc/м. Однако для надежного функционирования МГП РК при отработке малых перемещений и не только, следует в эксплуатационных условиях не допускать повышенного газосодержания в РЖ выше  $m_0 = 0,1$ .