

Нелинейности простейших рычажных механизмов гидроприводов и их компенсация

Стрижнев А.Г.; Ледник Г.В.; Русакович А.Н.

ООО «Техносоюзпроект»,
Минск, пр. Независимости, 115
e-mail: lednikg@yandex.ru

Аннотация — В докладе рассмотрен аналитический способ определения нелинейностей простейших рычажных механизмов гидроприводов, используемых в военной технике. Для компенсации влияния выявленных нелинейностей на работу гидроприводов предлагается использовать нормированный коэффициент преобразования. Даны рекомендации по применению полученных результатов.

Ключевые слова: нелинейности простейших рычажных механизмов, гидропривод, нормированный коэффициент передачи

В военной технике широко применяют пневмо- и гидроприводы с возвратно-поступательными перемещениями выходных звеньев, соединенных посредством какого-либо механизма (зубчатого или рычажного) с управляемыми устройствами. Рычажные механизмы, как и зубчатые, имеют нелинейные характеристики [1], которые нужно учитывать при проектировании систем автоматического управления (САУ) данными приводами [2]. Эффективность и качество работы любой САУ зависит от того, насколько выявлены и учтены существующие в ней нелинейности, в том числе и в механических передачах. Специалисты давно привыкли к таким часто встречающимся естественным нелинейностям, как нечувствительность, люфт, насыщение, и их сочетаниям [3]. Однако естественные нелинейности рычажных механизмов пневмо- и гидроприводов имеют свои особенности, которые нужно определить. В дальнейшем будут рассмотрены простейшие рычажные механизмы, используемые в гидроприводах военной техники.

Механическая передача привода вертикального наведения реактивной системы залпового огня «Смерч», обычно называемая механической передачей привода качающейся части (КЧ), относится к классу простейших рычажных механизмов. Механическая передача привода КЧ предназначена для поворота платформы и осуществляет преобразование линейного перемещения штока гидроцилиндра в угловое поворотное движение пакета направляющих, на которых размещены реактивные заряды. Привод КЧ расположен на поворотной платформе привода горизонтального наведения, называемой вращающейся частью (ВЧ), неподвижное основание которой установлено непосредственно на шасси боевой машины (БМ).

Упрощенная схема механической передачи привода КЧ представлена на рисунке 1, а.

Механическая передача привода вертикального наведения зенитного ракетного комплекса «Бук» обычно называется механической передачей привода ВН. Механическая передача привода ВН предназначена для преобразования линейного перемещения штока гидроцилиндра в угловое поворотное движение качающейся части.

Привод ВН расположен на поворотной платформе привода горизонтального наведения (ГН), неподвижная часть, которой непосредственно установлена на корпусе гусеничной машины (ГМ). Элементы упрощенной схемы механической передачи привода ВН, представленной на рис. 1, б, соответствуют (рис. 1, а). Заметим, что данная схема отличается от схемы на рис. 1, а тем, что у привода ВН базовое опорное расстояние AO меньше длины поворотного рычага BO .

С учетом схожести механических передач (см. рис. 1) рассмотрим более подробно привод КЧ.

Механическая передача (рис. 1, а) содержит:

платформу BD с пакетом направляющих, вращающуюся в угломестной плоскости вокруг оси O , находящейся на поворотной платформе привода ВЧ;

гидроцилиндр ГЦ, шарнирно соединенный корпусом с платформой BD осью B , а штоком – с поворотной платформой привода ВЧ при помощи оси A .

Во время работы привода КЧ происходит перемещение штока гидроцилиндра, общая длина m оси AB изменяется, и платформа BD поворачивается вокруг оси O . На оси O установлен датчик, который контролирует угловое положение (угол возвышения ϵ) платформы BD относительно продольной оси Y поворотной платформы привода ВЧ. При линейном перемещении штока гидроцилиндра со скоростью $v_m = \dot{m}$ происходит нелинейное изменение угловой скорости поворота $\omega_l = \dot{\gamma}$ платформы BD . Следовательно, в процессе работы привода КЧ изменяется коэффициент преобразования K_p механической передачи, и эти изменения нужно определить и учитывать.

На рис. 1, а введены следующие обозначения:

r – длина опорного расстояния AO ;

m – длина оси AB ;

l – длина опорного рычага BO ;

α – угол AOY (угол между продольной осью Y и отрезком AO);

β – угол BOY (угол между продольной осью Y и отрезком BO);

β_0 – начальное (исходное) значение угла β ;

γ – угол AOB ;

$v_m = \dot{m}$ – скорость движения штока гидроцилиндра (изменения длины оси m);

$\omega_l = \dot{\gamma}$ – угловая скорость поворота оси BO .

Следуя рекомендациям [1, 4] получено выражение для определения коэффициента преобразования K_p , град/м

$$K_p = \frac{\omega_l}{v_m} = \frac{d\gamma}{dm} = \frac{180^\circ m}{\pi r l \sin(\alpha + \beta_0 + \epsilon)};$$
$$m = \sqrt{r^2 + l^2 - 2 r l \cos(\alpha + \beta_0 + \epsilon)} \quad (1)$$

С учетом известных величин ($r = 1,384$ м; $l = 0,9$ м; $\pi = 3,14$; $\alpha = 4,557^\circ$; $\beta_0 = 24,443^\circ$) выражение (1) можно преобразовать к виду

$$K_p = \frac{46,0092 m}{\sin(29^\circ + \varepsilon)}; m = \sqrt{2,7265 - 2,4919 \cos(29^\circ + \varepsilon)}. \quad (2)$$

Используя выражение (2) получена табличная и графическая зависимость коэффициента преобразования K_p , град/м, от угла возвышения ε , град. Среднему значению величины $m_{cp} = 1,28$ м соответствует угол $\gamma = 64^\circ$ или угол возвышения $\varepsilon = 35^\circ$. Коэффициент преобразования $K_{p, \varepsilon=35} = 65,44$ град/м.

При изменении угла возвышения ε от 0 до 60 град коэффициент преобразования K_p КЧ изменяется по нелинейному закону от 70,1909 до 75,3741 град/м. Это значит, что механическая передача привода КЧ обладает переменным коэффициентом преобразования $K_p(\varepsilon)$, который необходимо учитывать при управлении гидроцилиндром.

В тех случаях, когда требуется компенсировать влияние нелинейной зависимости коэффициента K_p на работу гидропривода, удобно использовать нормированный коэффициент преобразования

$$K_n = \frac{K_{p, \varepsilon=35}}{K_p} = \frac{1,4223 \sin(29^\circ + \varepsilon)}{m};$$

$$m = \sqrt{2,7265 - 2,4919 \cos(29^\circ + \varepsilon)}. \quad (3)$$

В качестве нормирующей величины целесообразно выбрать значение коэффициента K_p , вычисленное при угле ε , равном 35 град, что соответствует среднему значению углов ответственной зоны (15 – 55град).

Для компенсации влияния нелинейной зависимости (2) на работу гидропривода достаточно, используя функцию нормированного коэффициента преобразования (3), осуществить модуляцию сигнала управления гидроцилиндром. (2)

Исходя из результатов проведенных исследований и расчетов, можно сделать следующие выводы. При работе гидроприводов КЧ и ВН, которые содержат простейшие рычажные механизмы, при линейном движении штока гидроцилиндра происходит нелинейное изменение угла возвышения ε и, следовательно, коэффициента преобразования K_p механической передачи. В тех случаях, когда необходимо скомпенсировать влияние выявленных нелинейностей на работу гидропривода, предлагается с помощью нормированного коэффициента преобразования K_n механической передачи осуществлять модуляцию сигналов управления гидроцилиндром. Нормирование целесообразно проводить относительно значения коэффициента передачи K_p , вычисленного для середины зоны ответственных углов.

[1] И. И. Артоболевский. Теория механизмов и машин: учеб. для вузов. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Наука, 1988. - 640 с.: ил.

[2] Устройства и элементы автоматического регулирования и управления. Техническая кибернетика. Книга 3. Исполнительные устройства и сервомеханизмы / под ред. В. В. Солодовникова. – М.: Машиностроение, 1976. – 735 с.: ил.

[3] Г. Ф. Зайцев. В. К. Стеклов. Компенсация естественных нелинейностей автоматических систем. М.: Энергоиздат, 1982. – 96 с.: ил. – (Б-ка по автоматике; вып. 627).

[4] И. Н. Бронштейн, К. Ф. Семендяев. Справочник по математике. М.: Наука, 1964. – 608 с.: ил.

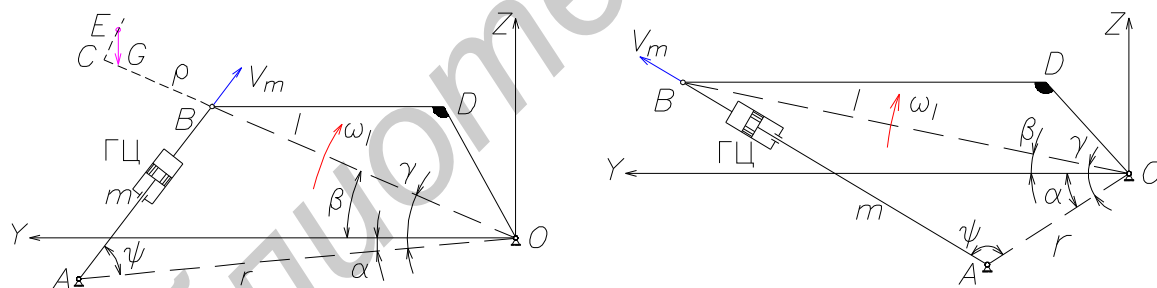


Рис. 1 Упрощенная схема механической передачи: а – привода КЧ; б – привода ВН