

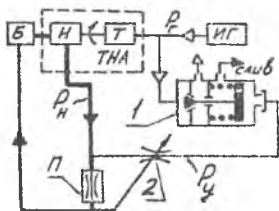
В.И.Есин, М.Н.Буслаев, В.А.Короткий

РАЗВИТИЕ АВТОКОЛЕБАНИЙ В СИСТЕМЕ
С НЕЛИНЕЙНЫМ ДЕМПФИРОВАНИЕМ

Рассмотрена типовая схема стабилизации напора ТНА с помощью быстродействующего регулятора, содержащего линейный гидравлический демпфер и нелинейный демпфер с характеристикой сухого трения. Данная схема является частным случаем широкого класса замкнутых автоматических систем, анализ устойчивости которых сводится к обобщенной задаче Вышнеградского. Показано, что наличие узла сухого трения в регуляторе ухудшает динамические характеристики системы и приводит к возникновению области автоколебаний, амплитуда которых определяется величиной сухого трения.

Для предотвращения колебаний подвижных элементов в агрегатах пневмогидравлических систем используются механические демпферы с нелинейной характеристикой сухого трения [1]. Однако применение нелинейных демпферов далеко не всегда дает ожидаемый эффект, особенно при включении их в состав замкнутой системы регулирования.

Рассмотрим схему стабилизации напора турбонасосного агрегата (ТНА). Поддержание постоянного напора осуществляется перепуском части газа мимо турбины через газовый регулятор I, величина открытия которого зависит от напора насоса ТНА (рис. 1). Для исследования устойчивости процесса регулирования получена система уравнений (в отклонениях):



Р и с. 1. Схема регулирования ТНА по газовой линии: Б - бак; П - потребитель, Н - насос, Т - турбина; I - газовый регулятор (исполнительный орган), 2 - золотниковый гидроусилитель (чувствительный элемент)

$$(T_r s + 1) \Delta P_r = K_r \Delta x, \quad (1)$$

$$(T_T s + 1) \Delta P_H = K_T \Delta P_r, \quad (2)$$

$$(T_y s + 1) \Delta P_y = K_y \Delta P_H, \quad (3)$$

которую следует дополнить квазилинейным уравнением, описывающим перемещение плунжера газового регулятора (исполнительного органа системы регулирования):

$$(T_p s + 1) \Delta x = K_p (\Delta F_y - F_{TP}). \quad (4)$$

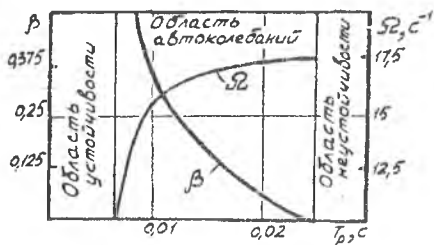
Постоянная времени T_p обусловлена линейным гидравлическим демпфированием [2], $\Delta F_y = f \Delta p_y$ - управляющая сила (f - площадь плунжера регулятора I), F_{TP} - сила сухого трения. Знак Δ означает малое отклонение параметра от заданного номинального значения. Уравнения (1), (2) описывают регулируемый объект - ТНА с приводом от источника горячего газа (ИГ). Давление газа p_r в ИГ зависит от величины x открытия иглы газового регулятора. Постоянная времени T_r определяется величиной свободного объема ИГ, а T_r - величиной момента инерции ротора ТНА. Постоянная времени золотникового гидроусилителя 2 зависит от величины его гидравлического демпфирования, а коэффициент усиления K_y определяется жесткостью пружины золотника. В уравнениях автоматики (3), (4) не учтена масса подвижных частей, поскольку ТНА "фильтрует" высокие собственные частоты, обусловленные инерционностью плунжеров автоматики.

Следует отметить, что исследуемая система автоматического регулирования (1)-(4) может считаться частным случаем более общего класса замкнутых саморегулируемых систем, состоящих из инерционного регулируемого объекта и быстродействующего регулятора, описываемого нелинейным уравнением (4) с учетом или без учета массы подвижных частей [3]. Анализ устойчивости таких систем приводит к так называемой обобщенной задаче Вышнеградского [4], которая аналитически решается с использованием достаточных критериев абсолютной устойчивости, графоаналитически - на основании метода Гольдварба [1] или с применением методов численного дифференцирования.

Рассмотрим некоторые особенности возникновения и развития автоколебаний в системе вида (1)-(4). Прежде всего заметим, что автоколебания неизбежно возникают при нарушении условия устойчивости "в малом" (критерий Гурвица или аналогичный). В этом случае амплитуда автоколебаний определяется только ограничением хода элементов автоматики и достигает предельно возможной величины. При этом наличие нелинейного демпфера (типа узла сухого трения) практически не влияет на амплитуду автоколебаний, поскольку с увеличением амплитуды управляющей силы F_y относительное влияние силы трения уменьшается. Устранить автоколебания в этом случае удастся либо за счет снижения суммарного коэффициента усиления $K_y K_p$ блока автома-

тики (при этом снижается точность стабилизации), либо путем увеличения быстродействия регуляторов 1,2. И наоборот, всякое дополнительное демпфирование дросселя 1 или золотника 2 увеличивает фазовый сдвиг при прохождении сигнала по замкнутому контуру "ИГ-ТНА-золотник 2-дроссель 1-ИГ" и тем самым приближает рассматриваемую замкнутую систему к области автоколебаний.

Введение узла сухого трения в любой элемент автоматики приводит к увеличению фазового сдвига при обработке этим элементом входного периодического сигнала, а следовательно, ухудшает динамические характеристики замкнутого контура. Однако следует отметить, что влияние нелинейного демпфирования на развитие автоколебаний неоднозначно, поскольку одновременно с увеличением фазового сдвига происходит снижение чувствительности узла автоматики с сухим трением (стабилизирующий фактор). Для выяснения степени влияния противоположно действующих факторов выполнена гармоническая линеаризация уравнения (4), содержащего нелинейность "сухое трение". В соответствии с методом Гольдварба параметры автоколебаний определяются в точках пересечения годографа линейной части (1-3) и нелинейного элемента (4). Расчет показывает, что при введении узла сухого трения в обратную связь замкнутой системы появляется область автоколебаний, заполняющая часть области устойчивости "в малом" (рис. 2).



Р и с. 2. Относительная амплитуда и частота автоколебаний в зависимости от постоянной времени газового регулятора

Таким образом, дестабилизирующий фактор (увеличенный фазовый сдвиг) преобладает над стабилизирующим фактором снижения чувствительности регулятора с узлом сухого трения. Амплитуда автоколебаний в системе с нелинейным демпфером определяется величиной силы сухого трения. Действительно, при случайном увеличении амплитуды автоколебаний уменьшается относительная величина сухого трения $\beta = F_{тр}/A_F$, где A_F - амплитуда управляющей силы F_y . Аналогично, уменьшение A_F приводит к увеличению β . Из рис. 2 следует, что по мере приближения к области неустойчивости "в малом" параметр β стремится к нулю, поскольку при этом амплитуда колебаний теоретически стремится к бесконечности.

В ы в о д

Введение узла сухого трения в автоматiku замкнутой системы автоматического регулирования приводит к появлению области системных автоколебаний, которая захватывает часть области устойчивой работы. Поэтому механический демпфер (или любая иная нелинейность типа "сухое трение", "люфт", "гистерезис") ухудшает динамические характеристики рассмотренного класса замкнутых систем автоматического регулирования.

Б и б л и о г р а ф и ч е с к и й с п и с о к

1. Соловьев Е.В., Левинтан Е.Ю. Устойчивость и автоколебания газового редуктора с механическим демпфером //Динамические процессы в силовых и энергетических установках летательных аппаратов: Сб. тр. /Куйбышев. авиац. ин-т. Куйбышев, 1990. С.10-28.
2. Короткий В.А., Есян В.И. Динамические характеристики гидравлического сервопривода //Динамические процессы в силовых и энергетических установках летательных аппаратов: Сб.тр. /Куйбышев. авиац.ин-т. Куйбышев, 1990. С. 129-134.
3. Короткий В.А., Витовтов И.Г. Непрямое регулирование машины с самовыравниванием при наличии сухого трения в регуляторе //Изв. вузов. Сер. Приборостроение, 1986. № 10. С. 21-24.
4. Витовтов И.Г., Короткий В.А. Обобщенная задача Вышнеградского //Изв.вузов. Сер. Приборостроение. 1986. № 10. С. 21-24.

УДК 629.84.063

С.А.Петренко, А.А.Маркин, Ю.В.Монохов

ДИНАМИКА ОТДЕЛЕНИЯ ПЕРЕХОДНИКА СИСТЕМЫ ПРИЦЕЛИВАНИЯ РАКЕТЫ-НОСИТЕЛЯ "ЭНЕРГИЯ"

Рассмотрен пример численного расчета динамики отделения механизма переходника системы прицеливания ракеты-носителя(РН) "Энергия".

В состав РН входит система прицеливания, предназначенная для точного автоматического наведения ракеты по заданному азимуту полета. С целью оптимизации массы РН начальная ориентация системы осуществляется только при нахождении ракеты на стартовом устройстве с отводом приборов в начале движения РН.

Динамические процессы в установках ЛА. Самара, 1994.
