

## РАЗДЕЛ III. НОВЫЕ ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ

таты измерений сопоставлялись с данными независимых измерений и в пределах погрешности совпадали с ними.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Неразрушающий контроль и диагностика. Справочник. / Под ред. В.В.Клюева. - М.: Машиностроение, 1995.
2. Дорофеев, А.Л. Индукционная структуроскопия./ А.Л. Дорофеев. - М.: Энергия. 1973.
3. Поляков, В.В. Зависимость электропроводности пористых металлов от структуры. // В.В. Поляков, А.В. Егоров. - Теплофизика и аэромеханика. 1994. Т.1. №2, С. 179-181.
4. Поляков, В.В. Магнитные и электрические характеристики пористых ферромагнетиков. // В.В. Поляков, А.В. Егоров. - Доклады Академии наук. 1995. Т. 344. №4. С. 479-480.
5. Баштанников, Л.А. Определение электромагнитных характеристик материала сплошных цилиндрических изделий// Л.А. Баштанников, В.И. Бондаренко, В.П. Себко, В.И. Тюпа. - Дефектоскопия, 1980, №8 С.5-9.

*К.ф.-м.н., доцент Егоров А.В., д.ф.-м.н., профессор Поляков В.В., тел. (3852) 36-48-09, pvv@asu.ru; студент, Иваков С.В. - Алтайский государственный университет, кафедра прикладной физики, электроники и информационной безопасности, г. Барнаул.*

УДК: 621.31:658.386

## ОСОБЕННОСТИ КОНТРОЛЯ ДВИЖЕНИЯ В СУБКРИТИЧЕСКИХ ФАЗАХ

Ю.А. Осокин

Рассматриваются особенности движения механизмов сложных систем в субкритических фазах, в частности на грани появления нештатных ситуаций. Предлагается повысить внимание к динамическим характеристикам демпферных устройств, в том числе на основе интерактивного контроля.

**Ключевые слова:** интерактивный контроль, демпфирование, динамические характеристики

На современных уровнях развития производства прежние формы контроля в ряде случаев не обеспечивают исполнение необходимых требований. Особенно это касается высоко динамичных процессов, в которых участвуют скоростные манипуляторы, роторные автоматы, механизмы турбин, гироскопы и другие подобные устройства. На определенных фазах высокودинамичных процессов неожиданно возникают опасные критические ситуации, потеря устойчивости. Механизмы при этом, как правило, являются самым слабым звеном системы. Несовершенство механики явилось причиной продолжительного тормоза в развитии отечественной и зарубежной робототехники. Для решения данных проблем требуются теоретические и экспериментальные исследования в данном направлении

Результаты испытаний устройств в реальном производстве показывают, что причиной многих сбоев процесса являются неоптимальные значения жесткости и демпфирующих свойств системы [1].

Недоучет этих параметров ведет к нарушению селективности и адекватности управляющих сигналов. Создается зона непредсказуемости критических ситуаций. Это

характерно для работы механизмов в упругой среде с нестабильными параметрами энергоносителей [1]. Желаемые вершины динамического потолка, предельно высоких скоростей приводов механизмов в отечественном и зарубежном машиностроении (например, в Японии) еще не достигнуты ввиду ряда нерешенных проблем.

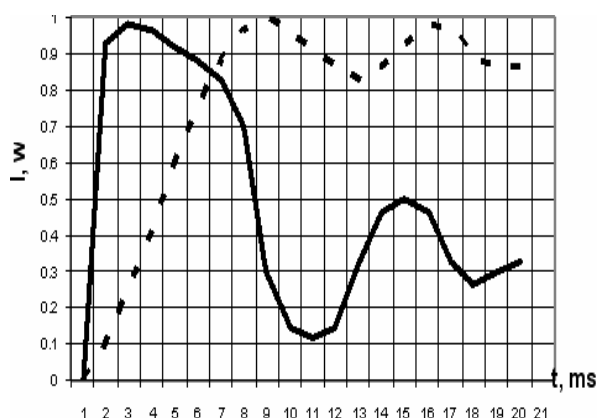


Рисунок 1 - Реакция механизма привода (пунктир) на сигнал управления

Проблема заключается в том, что для высоко динамичных систем создаются малоинерционные звенья. При этом конструктив-

ными мерами снижаются моменты инерций подвижных, вращающихся узлов, так как механизмы из за высоких напряжений не выдерживают центробежных нагрузок по условиям прочности. Снижение инерционных свойств за счет облегчения механических звеньев приводит к тому, что они не выдерживают нагрузок по условиям жесткости. При значительных деформациях от центробежных сил возникает разбалансировка и ударное разрушение механизма.

На динамику движения механизмов влияют его демпферные свойства. При моменте инерции звена  $J$ , демпферного узла с коэффициентом успокоителя  $k$ , жесткости с равновесие системы описывается известным уравнением:

$$J d^2\varphi / dt^2 + k d\varphi / dt + c\varphi = 0.$$

Информативным параметром процесса колебаний является степень успокоения  $\beta$ :

$$\beta = k / (2(J c)^{1/2})$$

Время успокоения, в течение которого подвижная система с заданной точностью устанавливается в заданном положении определяется:

$$T_{дмп} = [J / (c\beta^2)] \ln[1 / \lambda(1 - \beta^2)^{1/2}],$$

где  $\lambda = \Delta\varphi / \varphi_0$  - коэффициент, характеризующий относительную точность установки системы в положение равновесия.

Отсутствие сил сопротивления ( $\beta=0$ ) приводит к тому, система входит в режим колебаний без затухания. Резонансные колебания звеньев сложной системы при этом могут раскачать ее вплоть до аварийного развала.

Существуют методы капитальной конструктивной изоляции от внешней среды. Так, для достижения наивысшего качества обработки поверхности точных деталей с применением предельно высоких скоростей станки и механизмы изолируются установкой их на отдельных фундаментах. Но радикальное виброэкранирование не всегда рационально и технически реализуемо.

Информативные датчики могут только показать, что процесс стал неуправляемым. Если контроль движения не активизирован включением инерциальных обратных связей, то для высокودинамичных систем он является неэффективным. Без сил, противодействующих колебательному процессу, заданный закон движения не обеспечить. В этом аспекте интерес представляет интерактивный контроль с характерным для него применением противодействующих сил (сил сопротивления).

Для субкритических фаз характерны неожиданные изменения некоторых параметров, существенно влияющих на динамику движения. Например, сила сопротивления в критических фазах уже не пропорциональна квадрату скорости, приграничные слои уже не обтекают как обычно ребро, а «сгорают». Критическая граница устойчивости может быть неожиданно преодолена, так как она явно зависит от величины коэффициентов передач и постоянных времени звеньев каскада. Например, в системе с инерционными звеньями первого порядка, описываемой уравнением:

$$a_0 p^3 + a_1 p^2 + a_2 p + a_3 = 0$$

по критерию Гурвица требуется, чтобы коэффициенты  $a_0, a_1, a_2, a_3$  имели положительные знаки ( $a_0 > 0, a_1 > 0, a_2 > 0, a_3 > 0$ ). Также положительный знак должен иметь определитель матрицы, построенной на основе этих коэффициентов:

$$\Delta_k = a_1 a_2 - a_0 a_3 > 0.$$

На основе данных критериев видно, что критическая граница существует и зависит от величины коэффициентов передач и постоянных времени звеньев каскада. Для тех случаев, когда система (в частности, энергосистема) при раскачке входит в зону неизвестного автором предложено вводить режим стабильной форсировки генерирующего узла до появления минимально необходимого параметра устойчивости (скорости, амплитуды, частоты колебаний) [2].

Исследования динамики движения механизмов в высоко динамичных режимах показывают, что для асимптотической устойчивости системы «привод-регулятор» должно обеспечиваться условие [3]:

$$\Delta_k = T_0 (T_0 T_2 - k_0 k_1 T_1^2) > 0,$$

где  $T_1$  – постоянная времени основного рабочего механизма;  $T_2$  – постоянная времени демпферного узла, создающего противодействующее, тормозное усилие, пропорциональное скорости движения основного узла;  $T_0$ , постоянная времени инерционного регулятора;

$k_1, k_2, k_0$  – соответствующие коэффициенты передачи.

В высокоскоростных устройствах с идеальной балансировкой и минимальными инерционными массами движущихся звеньев устраняется демпфирующие эффекты, характерные для узлов, создающих трение со-

### РАЗДЕЛ III. НОВЫЕ ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ

противления. Постоянная времени  $T_2$  приобретает практически нулевое значение. При этом движущаяся система входит в опасную субкритическую фазу. Параметры движения могут быть контролируемы, но система выходит из реального подчинения. Знак определителя изменяется на противоположный:

$$\Delta_k = T_0 (0 - k_0 k_1 T_1^2) < 0.$$

Система входит в субкритическую фазу и ничто ей не мешает выйти из подчинения, так как нет реальных противодействующих силовых факторов, обеспечивающих необходимое противостояние на грани устойчивости.

Это может произойти в случае, если при минимуме противодействующего тормозного воздействия параметр  $T_2$  снизится до уровня:

$$T_2 = k_0 k_1 T_1^2 / T_0.$$

Параметры  $T_2$  и  $k_0 k_1$  существенно меньше, чем  $T_0$ .

Контроль субкритической фазы можно прогнозировать в определенных произвольных (в реальном диапазоне) значениях, например,  $K_{01} = k_0 k_1 = 1, 2, \dots, m$  можно определить из отношения  $T_0 / T_1 = k_t$ , которые прогнозируют значения параметра  $T_2$

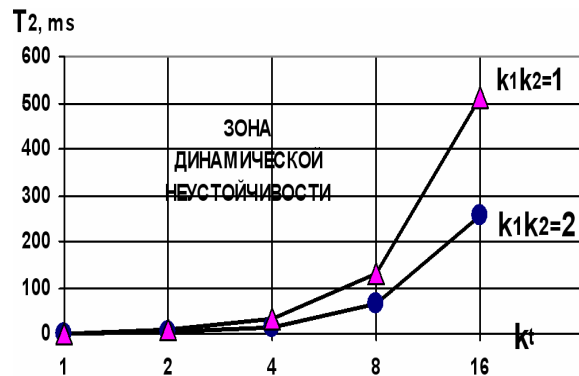


Рисунок 2 - Минимальные значения параметра  $T_2$  от значений комбинации коэффициентов  $k_1, k_2$ :

1)  $k_1 k_2 = 1$ , 2)  $k_1 k_2 = 2$ .

Для ряда соотношений параметров  $T_0$  и  $T_1$  в диапазоне изменения коэффициента  $k_t$ ,  $k_t = T_0 / T_1$  диапазон субкритических значений демпфирующего параметра  $T_2$  показан на рисунке 2.

Зная границы субкритических параметров информативных сигналов, например, при получении модулированных сигналов в форме пачек импульсов на фильтр, настроенный

на частоту  $\omega_1$  можно получить сигнал на интервале времени:

$$\Delta t_i \text{ от } t_i = 0 \text{ до } t_i = t [4]:$$

$$U_c = \int U e^{-\omega_0 t / (4Q)} \sin(\omega_1 t + \varphi) U(t - \tau) / (RC(1 - 4Q^2)^{1/2}) dt,$$

где  $Q$  – добротность контура,

$R, C$  – параметры фильтра (в частности, фильтра низкой частоты, построенного на основе элементов  $R, C$ ).

Сигнал шума  $U_{ш}^2$  при мощности шума  $N_{вх} = N_0^2 = \text{const.}$ :

$$U_{ш}^2 = N_0^2 (\omega_0 / (4Q))(R_{ш} / (R + R_{ш}))^2,$$

где  $R_{ш}$  – сопротивление, шунтирующее емкость  $C$ . Данный фильтр позволяет получить достаточно хорошее (до 90% к оптимальному) соотношение сигнала к шуму.

Скорость реакции фильтра на импульс зависит от формы импульса и полосы пропускания. Пиковая мощность сигнала на выходе пропорциональна квадрату полосы пропускания. С расширением полосы мощность шума увеличивается. Поэтому полоса выбирается из реальных частотных характеристик контролируемого параметра по оптимальному критерию, например, по максимуму отношения сигнала к шуму.

Максимум отношения сигнала к шуму можно реализовать при условии  $\Delta f_{ти} = 1/2$ ,

где  $\Delta f$  – полоса пропускания на уровне 3 дБ.

В субкритических фазах отношение сигнала к шуму следует улавливать при минимальных значениях этого отношения.

Для надежной идентификации такого сигнала требуется выполнение условия:

$$\Delta f_{ти} \geq 4.$$

Данная методика апробирована (внедрена) на каскаде энергосистемы ЛК ГЭС в качестве регуляторов возбуждения синхронных генераторов[2].

#### Выводы:

1. В зонах субкритических фаз следует повышать внимание к динамическим характеристикам демпферных устройств
2. Следует уделять внимание схемам контроля с применением противодействующих сил, сил сопротивления.
3. Контроль с силовым доминированием эффективней координатного контроля.
4. Применение прогнозируемого контроля позволяет повысить статическую и дина-

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА КОНТРОЛЯ РАЗМЕРОВ И КОНЦЕНТРАЦИИ МЕЛКОДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ ПО ОПТИЧЕСКОМУ ИЗОБРАЖЕНИЮ ТЕСТ-ОБЪЕКТА

мическую устойчивость сложной системы в субкритических ситуациях.

5. В случае неожиданной раскачки сложной системы, в «регулировании» устойчивости которой одновременно участвует несколько пунктов, эффективным методом является применение форсировки, в том числе на нескольких звеньях.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Осокин, Ю.А.. Влияние субкритических фаз движения на параметрические возбуждения и устойчивость системы [Текст] / Ю.А.Осокин. // Измерение. Контроль. Информатизация: материалы десятой Международной научно-технической конференции. - Барнаул, АлтГТУ, 2009, с.151-152.

2. А.с. № 828357, СССР (Российская Федерация), МКИ` Н 02 Р 9 / 10. Устройство для автоматического регулирования возбуждения синхронного генератора [Текст] / В.П.Горелов, П.И. Госьков, Ю.А. Осокин и др.; заявитель и патентообладатель Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова. - № 2004132661/09, заявл.11.07.79; опубл. 07.05.81. Бюл. № 17. – 5 с.
3. Меркин, Д. Р. Введение в теорию устойчивости движения [Текст] / Д. Р Меркин. - СПб.: Издательство «Лань», 2003.– 304 с.
4. Криксунов, Л.З. Справочник по основам инфракрасной техники[Текст] / Л.З. Криксунов. - М.: Сов.радио, 1978. – 400 с.

*К.т.н., доцент Осокин Ю.А - (3852) 36-75-93 – кафедра информационных технологий АлтГТУ*

УДК 535.36:535.346.1

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА КОНТРОЛЯ РАЗМЕРОВ И КОНЦЕНТРАЦИИ МЕЛКОДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ ПО ОПТИЧЕСКОМУ ИЗОБРАЖЕНИЮ ТЕСТ-ОБЪЕКТА

Д.Г. Кальной, С.П. Пронин

В статье моделируется процесс контроля размеров и концентрации мелкодисперсных частиц по оптическому изображению тест-объекта. Проведены экспериментальные исследования для проверки возможности применения разработанной модели.

**Ключевые слова:** контроль размеров, мелкодисперсные частицы, оптический контраст

Во многих отраслях науки и промышленности необходимо контролировать размеры мелкодисперсных частиц. В зависимости от области применения диапазон размеров таких частиц колеблется в очень широких пределах: от нескольких нанометров до десятков микрометров. Это приводит к большим сложностям при создании средств контроля, так как многие методы применимы лишь для определенных, зачастую небольших диапазонов.

В промышленности методы контроля размеров частиц необходимы при производстве композиционных материалов, химической продукции, лекарственных средств. Большое применение контроль находит в экологии воздушной и водной среды, медицине [1 - 4].

Основными методами контроля размеров частиц являются методы, основанные на рассеянии света. Рассеяние света вызывается наличием в такой среде оптических неоднородностей, то есть включений, которые обладают отличными от окружающей среды

оптическими свойствами. Для описания процесса рассеяния света отдельной частицей применяют теории, базирующиеся на решении уравнений Максвелла: теория Ми, теория Рэлея. Они достаточно сложны и не позволяют достичь приемлемых результатов в широком диапазоне изменения размеров в реальных приложениях. Для описания рассеяния реальными средами, то есть, состоящими из совокупности частиц и допускающими многократное рассеяние, применяют теории многократного рассеяния, оптического переноса [1, 2, 4, 5].

Известно, что передаточная функция «средней» атмосферной турбулентности, также являющейся рассеивающей средой, может быть представлена функцией вида  $H(v) = \exp(-v^2/2\sigma^2)^{5/6}$ . Часто на практике показатель степени опускают и считают, что  $H(v)$  может быть аппроксимирована гауссовой кривой, дисперсия которой  $\sigma^2$  является функцией атмосферных условий.