© С.Е. Иконников, 2005

УДК 621.879.38

С.Е. Иконников

СИНТЕЗ РЕГУЛЯТОРА НАТЯЖЕНИЯ ТЯГОВЫХ КАНАТОВ МОЩНОГО ДРАГЛАЙНА

Семинар № 6

Опыт эксплуатации мощных экскаваторов-драглайнов показывает, что возникновение динамических нагрузок в тяговом механизме связано с режимом стопорения ковша, из-за которого усилие натяжения тяговых канатов значительно превышает заданное стопорное значение, что может привести к обрыву каната и возникновению аварийной ситуации.

Для стабилизации максимального натяжения тяговых канатов предложены различные варианты автоматизированных устройств. Для решения этой задачи наиболее целесообразно применить параллельную коррекцию, при которой регулятор и датчик натяжения тяговых канатов, образуя контур регулирования усилия натяжения, взаимодействуют с экскаваторным электроприводом тяги через логический блок выделения минимального сигнала [1].

Разработан метод синтеза регулятора натяжения тяговых канатов при параллельной коррекции электропривода тяги для идеализированного режима жесткого стопорения ковша при влиянии момента сопротивления от усилия в упругом канате [1].

В данной статье рассмотрен синтез регулятора усилия натяжения тяговых канатов в режиме реального стопорения ковша при влиянии момента сопротивления. По результатам аналитического синтеза были проведены исследования динамических процессов в САР натяжения тяговых канатов при помощи цифрового моделирования на IBM PC на примере экскаватора-драглайна типа ЭШ 20.90.

На рисунке показана структурная схема системы автоматического регулирования (САР) натяжения тяговых канатов с экскаваторным электроприводом постоянного тока, выполненного по системе "генератор-двигатель" с тиристорным возбудителем.

При исследовании электропривода тяги и САР натяжения тяговых канатов в процессе синтеза регулятора усилия принимаются допущения, которые состоят в том, что: - процесс стопорения ковша начинается в момент окончания копания грунта с номинальной толщиной стружки при номинальной скорости электропривода тяги;

- непреодолимое препятствие в процессе стопорения при взаимодействии с ковшом имитируется линейной пружиной без обратной отдачи.

Сила упругости $P_{пр}$ такой пружины равна:

$$P_{пр} = C_{гр} * l_к, \qquad (1)$$

где $C_{гр}$ - жесткость грунта на смятие; $l_к$ - перемещение ковша вдоль забоя с момента начала стопорения.

При этом путь $l_к$, пройденный ковшом при стопорении, равен:

$$l_к = r_б Y_т - U_т,$$

где $r_б$ - радиус барабана лебедки тягового механизма; $Y_т$ - угол, на который повернулась лебедка тяги за время стопорения; $U_т$ - деформация тяговых канатов.

Усилие в тяговых канатах $S_т$ равно:

$$S_т = C_т U_т = C_{тг б} / I_p Y_т = C_{тг б} / I_p \int w dt,$$

где $C_т$ - жесткость тяговых канатов; I_p - передаточное отношение редуктора механизма тяги; w - угловая скорость механизма тяги.

Действие всех сил на ковш при стопорении записывается в виде уравнения:

$$M_к l_к = S_т - P_{пр} - P_{тр}, \qquad (2)$$

где $M_к$ - масса груженного ковша; $P_{тр} = b\, l_к$ - сила трения, действующая на ковш при стопорении, b - постоянный коэффициент.

С учетом выражения (1) уравнение (2) примет вид:

$$M_к l_к + b l_к + C_{гр} l_к = S_т$$

Момент сопротивления Мс, приведенный к валу двигателя равен:

$Mc = rб*Sт / (Iр*n)$,

где n - КПД редуктора механизма тяги.
При стопорении выполняется условие:

$Рпр = Sстоп$,

где Sстоп - стопорное усилие в тяговых канатах; тогда справедливо выражение

$$Сгр = Sстоп / lк \qquad (3)$$

При lк = 0 имеет место идеализированный режим жесткого стопорения ковша, в котором возникают наиболее тяжелые динамические нагрузки [1].

На схеме приняты обозначения: Се, См - конструктивные постоянные двигателя; Ктв, Кг, Кя, Кдн, Кдт, Кднтк - передаточные коэффициенты тиристорного возбудителя, генератора, якорной цепи двигателя, датчиков напряжения, тока и натяжения тяговых канатов; Ттв, Тг, Тя, Тм - постоянные времени тиристорного возбудителя, генератора, якорной цепи, электромеханическая двигателя; Uск - напряжение командоаппарата тяги.

В качестве датчика натяжения тяговых канатов ДНТК используется устройство измерения усилия по статической составляющей тока силовой цепи.

При синтезе в качестве регулятора усилия натяжения тяговых канатов РНТК принимается ПД - регулятор с передаточной функцией:

$Wрнтк(р) = Кп(Тдр+1)$,

где Кп - коэффициент пропорциональности; Тд - время дифференцирования.

Сигнал Uзн задания регулятору РНТК соответствует заданному максимальному натяжению тяговых канатов, равному стопорному значению Sстоп.

В качестве регулятора РТ тока силовой цепи Iя был принят ПИ - регулятор с передаточной функцией:

$Wрт(р) = (Трт\, р + 1) / Ти\, р$,

где Трт и Ти - постоянные времени регулятора тока.

При оптимизации замкнутого контура регулирования тока параметры РТ рассчитывались исходя из критерия "модульного оптимума" [2].

В качестве регулятора РН напряжения генератора Uг был принят П - регулятор с передаточной функцией:

$Wрн(р) = Крн$

где Крн - передаточный коэффициент регулятора напряжения.

Все регуляторы имеют ограничители максимального уровня выходного сигнала.

После преобразований и линеаризации нелинейных элементов структурная схема САР натяжения тяговых канатов была преобразована так, что в нее входит передаточная функция звена "двигатель механизма тяги - упругий канат" Wк(р) равная:

$$Wк(р) = \frac{Sп(р)}{Iя(р)} = \frac{Кк(Тяр + 1)}{Тор + Т1р + 1},$$

$$где\ Кк = \frac{См * Iр * n}{rб};$$

$$То = Тм * Тк\ ;\ \ Т1 = Тя + Тк\ ;$$

$$Тк = \frac{Се\ См\ Iр\ n}{Rя\ rб\ Сс};$$

$$Сс = СтСгр / (Ст + Сгр)\ ;$$

где Сс - суммарная жесткость тягового каната и грунта; Rя - сопротивление якорной цепи двигателя.

Передаточной функции замкнутой САР натяжения тяговых канатов имеет вид:

$$Wзам(р) = \frac{К*(Тдр+1)}{ТоТгр+(ТгТ1+То)р+(Тг+Т1+К*Тд)р+1+К} \qquad (4)$$

где К = Ктв*Кг*Кк*Кднтк*Кп / Rя

Выражение (4) передаточной функции Wзам(р) можно привести к нормированной форме Вышнеградского [3]:

$$Wзам(р) = \frac{A1р + 1}{р + A2р + A1р + 1}$$

Коэффициенты А1 и А2 определяются по [4] как:

$$A1 = \frac{Тг+Т1+К*Тд}{(1+К) *То*Тг} \qquad (5)$$

$$A2 = \frac{Тг*Т1+То}{(1+К)*(То*Тг)} \qquad (6).$$

Используя метод стандартных коэффициентов [3] и приняв:

А1 = А2 = 3 из условия оптимизации по быстродейтвию при отсутствии колебательности и минимального перерегулирования можно выразить из выражения (6) оптимальное значение К:

$$K = \frac{(Тг*Т1+То)}{А2*(То*Тг)} - 1 \qquad (7)$$

Выражение (7) подставим в (5) определим оптимальное значение Тд:

$$Тд = \frac{1}{К} * (А1 * (1+К)*То*Тг - Тг - Т1)$$

В режиме жесткого стопорения ковша выполняется равенство: Сс = Ст.

Для экскаватора-драглайна типа ЭШ 20.90 в результате расчета параметры регулятора РНТК оказались равны:

Кп = 1.034 с.; Тд = 0.431 с.

Как показала практика, в режиме реального стопорения (lк = 0) максимальный путь ковша равен приблизительно 0.4 м.При значениях lк отличных от нуля, жесткость грунта Сгр вычисляется по (3), при этом суммарная жесткость грунта и тягового каната Сс уменьшается с увеличением lк.

Синтез регулятора усилия РНТК при lк = 0 выполняется аналогично как для режима жесткого стопорения, однако с учетом изменения суммарной жесткости Сс. Результаты расчетов занесены в таблицу:

lк,м	Сгр, кН/м	Сс, кН/м	Кп	Тд
0	∞	4400	1,03	0,43
0,1	12000	3219,5	1,37	0,45
0,2	6000	2538,5	1,7	0,46
0,3	4000	2095	2,06	0,47
0,4	3000	1784	2,39	0,48

При моделировании САР натяжения тяговых канатов с учетом нелинейных элементов и расчетными коэффициентами для экскаватора-драглайна ЭШ 20.90 на IBM PC были получены графики переходного процесса регулирования усилия в тяговых канатах при различных значениях lк и сделан вывод о том, что выбранная структура САР натяжения тяговых канатов и методика синтеза регулятора усилия РНТК является оптимальной для исследуемой модели экскаваторного электропривода и механизма тяги драглайна.

Поскольку техническая реализация регулятора усилия выполняется на программируемом микропроцессорном контроллере, то с целью определения допустимой величины периода квантования по времени Т было проведено моделирование САР натяжения тяговых канатов с учетом ЦАП, АЦП и цифрового ПД - регулятора РНТК.

Исследования показали, что период квантования по времени Т не должен превышать 0.025 с., чтобы качественные показатели в дискретной системе практически не отличались от их значений в аналоговой системе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ломакин М.С., Косорыгин В.С., Кулешов И.С.* Синтез регулятора натяжения тяговых канатов драглайна. – М.: МГИ,1988.

2. *Ключев В.И.* Теория электропривода: учебник для ВУЗов. - М., Энергоиздат, 1985.

3. *Бесекерский В.А., Попов Е.П.* Теория систем автоматического регулирования. – М.: Наука, 1975.

Коротко об авторах

Иконников С.Е. – Московский государственный горный университет.

Д И С С Е Р Т А Ц И И

ТЕКУЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ЗАЩИТАХ ДИССЕРТАЦИЙ ПО ГОРНОМУ ДЕЛУ И СМЕЖНЫМ ВОПРОСАМ

Автор	*Название работы*	*Специальность*	*Ученая степень*

ВИТЮК Анатолий Кондратьевич	Разработка инновационных принципов по размещению и организации производства на основе диверсификации угледобывающих предприятий (на примере Приморского края)	05.02.22	к.т.н.