© Р.М. Валиев, В.И. Попельнюхов, В.Н. Фащиленко, 2006

УДК 621.879

Р.М. Валиев, В.И. Попельнюхов, В.Н. Фащиленко

АНАЛИЗ ДЕМПФИРУЮЩИХ СВОЙСТВ ЭКСКАВАТОРНЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ПРИ УПРАВЛЯЮЩЕМ ВОЗДЕЙСТВИИ

Семинар № 21

Большую часть парка машин при открытой добыче полезных ископаемых составляют карьерные экскаваторы, в частности одноковшовые экскаваторы и драглайны. От эффективности их работы зависят экономические показатели карьера в целом. В настоящее время существует тенденция к увеличению единичной мощности главных электроприводов карьерных экскаваторов, а это в свою очередь означает, что при неизменной нагрузке экскаваторов возрастают скорости и ускорения работы этих механизмов. Однако увеличение единичной мощности означает также и увеличение динамических нагрузок в электромеханических системах (ЭМС) экскаваторов. Особенно это проявляется в ЭМС, содержащих упругие элементы, такие как канаты напора и подъема одноковшовых экскаваторов. В упругих элементах возникают упругие усилия (или моменты) носящие колебательный характер. Упругие колебания способствуют накоплению усталостных напряжений в элементах ЭМС, приводит к их более быстрому износу и как следствие быстрому выходу из строя. Это в свою очередь приводит к более частым остановкам экскаватора для ремонта, его простоям и т.д. Поэтому ограничение динамических нагрузок, максимальное демпфирование этих колебаний является актуальной задачей.

В настоящее время на одноковшовых карьерных экскаваторах применяется в основном электропривод системы генератор – двигатель с тиристорным возбудителем (Г–Д с ТВ) и на экскаваторе ЭКГ–20 система с управляемым выпрямителем – двигатель (УВ–Д). Не смотря на то, что система УВ–Д применяется только на одной модели экскаватора, рассматриваются обе системы.

Поскольку контур тока в системах подчиненного регулирования координат отвечает за качество переходного процесса по току и моменту двигателя (ток и момент двигателя связаны между собой прямопропорциональной зависимостью), то, изменяя структуру и параметры регулятора тока, можно добиться ограничения динамических нагрузок в упругих элементах экскаваторных электроприводов, не вводя дополнительных обратных связей.

Для системы Г–Д с ТВ рассматривались структуры с ПИ – регулятором и ПИД – регулятором тока, а для системы УВ–Д соответственно с И – регулятором и ПИ – регулятором тока. Для двух данных систем электропривода были получены математические модели и, в частности, собственные операторы передаточных функций при работе электропривода в нормальном, рабо-чем режиме:

– для системы Г–Д с ТВ (ПИ – регулятор тока)

$$W(p) = p^6 T_{рт} T_п T_я T_{12}^2 \frac{T_м}{\lambda_1} +$$
$$+ p^5 T_{рт}(T_п + T_я) T_{12}^2 \frac{T_м}{\lambda_1} + p^4 T_{рт}(T_п T_я + T_{12}^2) \frac{T_м}{\lambda_1} +$$
$$+ p^3 (T_{рт}(T_п + T_я) + \lambda_2 T_{12}^2) \frac{T_м}{\lambda_1} + \qquad (1)$$
$$+ p^2 (T_{рт} \frac{T_м}{\lambda_1} + T_н \frac{T_м}{\lambda_1} \frac{\gamma - 1}{\gamma} + \gamma T_{12}^2) +$$
$$+ p(\lambda_2 + \lambda_3 \frac{\gamma - 1}{\gamma}) \frac{T_м}{\lambda_1} + 1;$$

– для системы Г–Д с ТВ (ПИД – регулятор тока)

$$W(p) = p^5 T_{рт} T_п T_{12}^2 \frac{T_м}{\lambda_1} + p^4 T_{рт} T_{12}^2 \frac{T_м}{\lambda_1} +$$
$$+ p^3 (T_{рт} T_п + \lambda_2 T_{12}^2) \frac{T_м}{\lambda_1} +$$
$$+ p^2 (T_{рт} \frac{T_м}{\lambda_1} + T_н \frac{T_м}{\lambda_1} \frac{\gamma - 1}{\gamma} + \gamma T_{12}^2) + \qquad (2)$$
$$+ p(\lambda_2 + \lambda_3 \frac{\gamma - 1}{\gamma}) \frac{T_м}{\lambda_1} + 1;$$

– для системы УВ–Д (И – регулятор тока)

$$W(p) = p^6 T_{рт} T_п T_я T_{12}^2 \frac{T_м}{\lambda_1} +$$
$$p^5 T_{рт}(T_п + T_я) T_{12}^2 \frac{T_м}{\lambda_1} + p^4 T_{рт}(T_п T_я + T_{12}^2) \frac{T_м}{\lambda_1} +$$
$$+ p^3 (T_{рт}(T_п + T_я) + \lambda_2 T_{12}^2) \frac{T_м}{\lambda_1} + \qquad (3)$$
$$p^2 (T_{рт} \frac{T_м}{\lambda_1} + T_н \frac{T_м}{\lambda_1} \frac{\gamma - 1}{\gamma} + \gamma T_{12}^2) +$$
$$p(\lambda_2 + \lambda_3 \frac{\gamma - 1}{\gamma}) \frac{T_м}{\lambda_1} + 1;$$

– для системы УВ–Д (ПИ – регулятор тока)

$$W(p) = p^5 T_{рт} T_п T_{12}^2 \frac{T_м}{\lambda_1} + p^4 T_{рт} T_{12}^2 \frac{T_м}{\lambda_1} +$$
$$+ p^3 (T_{рт} T_п + \lambda_2 T_{12}^2) \frac{T_м}{\lambda_1} +$$
$$+ p^2 (T_{рт} \frac{T_м}{\lambda_1} + T_н \frac{T_м}{\lambda_1} \frac{\gamma - 1}{\gamma} + \gamma T_{12}^2) + \qquad (4)$$
$$+ p(\lambda_2 + \lambda_3 \frac{\gamma - 1}{\gamma}) \frac{T_м}{\lambda_1} + 1.$$

Из полученных соотношений видно, что идентичный вид имеют формулы (1) и (3), а также (2) и (4), то есть собственные операторы систем Г–Д с ТВ и УВ–Д одинаковы при использовании соответствующих регуляторов. Если собственные операторы имеют один и тот же вид, то и переходные процессы, протекающие в этих системах должны носить одинаковый характер. Такое предположение было подтверждено на модели ЭМС подъема экскаватора ЭКГ–8. При этом, в системе УВ–Д с И – регулятором тока постоянная времени интегрирующего звена $T_И$ была взята такой же, как и в системе Г–Д с ТВ с ПИ – регулятором тока (последняя приблизительно в 4 раза больше, чем в системе УВ–Д с ПИ – регулятором тока). В системе Г–Д с ТВ с ПИД-регулятором тока постоянная времени интегрирующего звена $T_И$ была взята такой же, как и в системе УВ–Д с ПИ – регулятором тока.

Результаты моделирования показали, что переходные процессы в системах УВ–Д и Г–Д с ТВ при соответствующих регуляторах идентичны. Однако можно отметить, что применение И – регулятора тока в системе УВ–Д дает несколько лучший результат по сравнению с ПИ – регулятором. Аналогично структура с ПИД – регулятором в системе Г–Д с ТВ дает лучшее качество переходных процессов. Объясняется это следующими обстоятельствами: применение И – регулятора тока позволяет искусственно “растягивать” переходный процесс, т.е. снижается быстродействие токового контура, что аналогично применению задатчика интенсивности. Применение ПИД – регулятора тока позволяет “сжимать” переходный процесс, т.е. увеличивать быстродействие токового контура и получать переходные процессы сходные с процессами в системе УВ–Д, которые имеют несколько

лучший характер по сравнению с системой Г–Д с ТВ.

Так как в системе УВ–Д искусственно снижается быстродействие токового контура, то нет необходимости снижать быстродействие контура скорости, а ограничиться теми же параметрами, как и при стандартной настройке на “технический оптимум”. В этом случае качество переходных процессов резко возрастает.

На рис.1, 2, 3, 4, 5, 6 приведены переходные процессы в ЭМС одноковшовых экскаваторов с различными структурами управления.

Анализ переходных процессов позволил сделать следующие выводы:

1. Переходные процессы в системах УВ–Д и Г–Д с ТВ при соответствующих регуляторах протекают одинаково.

2. Наилучшее качество переходных процессов в системе УВ–Д имеет место при использовании И – регулятора тока и неизменном коэффициенте передачи контура скорости. В большой степени увеличилось демп-фирование колебаний, время переходного процесса уменьшилось на 41% по сравнению с переходными процессами, полученными при стандартной настройке на “технический оптимум”.

3. Лучшее качество переходных процессов в системе Г–Д с ТВ имеет место при использовании ПИД – регулятора тока по сравнению с ПИ – регулятором тока.

Необходимо отметить, при том, что переходные процессы в системах УВ–Д и Г–Д с ТВ с соответственно И и ПИД – регуляторами тока являются наилучшими из выше рассмотренных, они все таки имеют слишком большую колебательность и время переходного процесса.

В настоящее время уже достаточно широко известен способ ограничения и демпфирования колебаний в упругих элементах путем введения дополнительных обратных связей по моменту нагрузки в упругом элементе. В системе с подчиненным регулированием координат в дополнение к существующим жестким обратным связям по току и скорости вводятся либо дополнительная гибкая отрицательная связь по моменту нагрузки в упругом элементе (ГООСН), либо дополнительные гибкая и жесткая отрицательные обратные связи по моменту нагрузки в упругом элементе (ГООСН и ЖООСН). Применение только ЖООСН не допустимо [1].

Метод нормированных передаточных функций [1, 2] позволяет увязывать параметры ЭМС и показатели колебательности. Этот же метод позволяет определить параметры регу-ляторов и ГООСН.

По полученным переходным процессам видно, что применение данной связи (ГООСН) в ЭМС одноковшового экскаватора дает удовлетворительные результаты. Увеличилось демпфирование колебаний и уменьшилось время переходного процесса даже по сравнению с системой УВ–Д с И – регулятором тока.

Выводы

1. В двухмассовых ЭМС одноковшовых экскаваторов с системой

УВ–Д без дополнительных обратных связей для ограничения и демпфирования колебаний в упругих элементах необходимо применять И – регулятор тока.

2. В двухмассовых ЭМС одноковшовых экскаваторов с системой

Г–Д с ТВ без дополнительных обратных связей для ограничения и демпфирования колебаний в упругих элементах необходимо применять ПИД – регулятор тока.

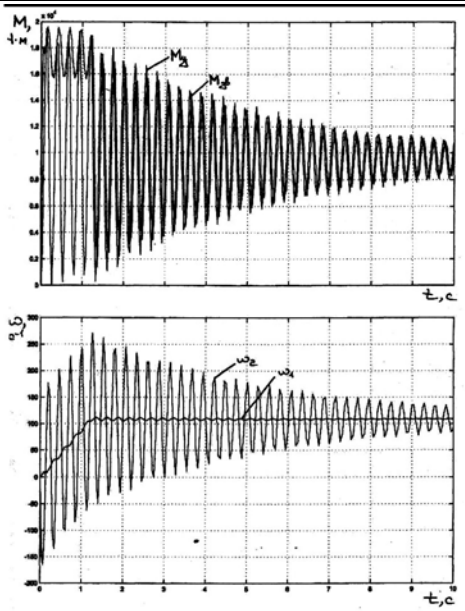

Рис. 1. Переходные процессы в системе УВ–Д с ПИ–регулятором тока

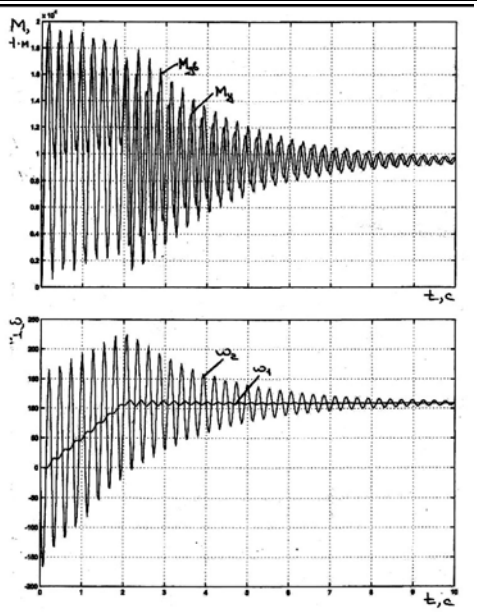

Рис. 2. Переходные процессы в системе УВ–Д с И–регулятором тока

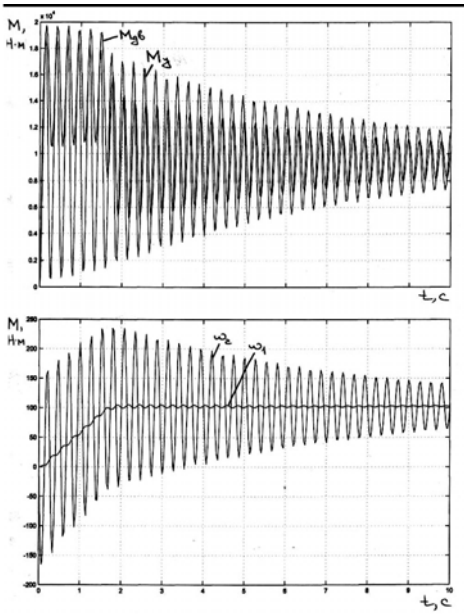

Рис. 3. Переходные процессы в системе Г–Д с ТВ с ПИ–регулятором тока

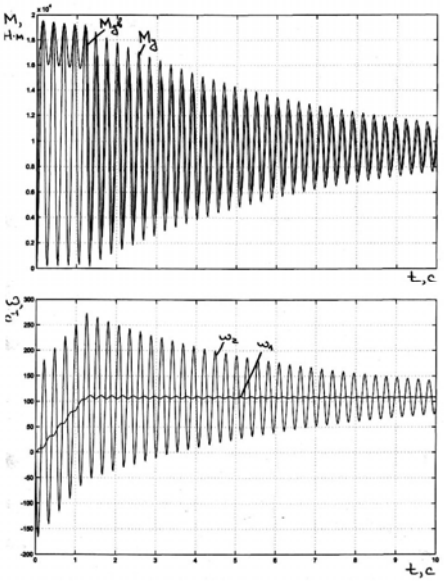

Рис. 4. Переходные процессы в системе Г–Д с ТВ с ПИД–регулятором тока

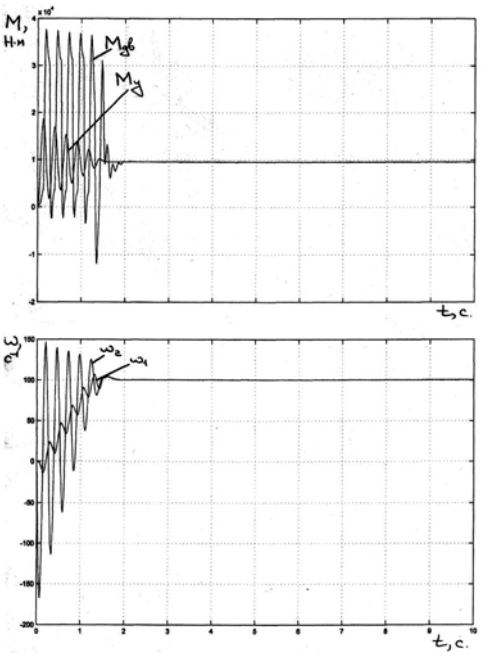

Рис. 5. Переходные процессы в системе УВ–Д с ПИ–регулятором тока и ГООСН

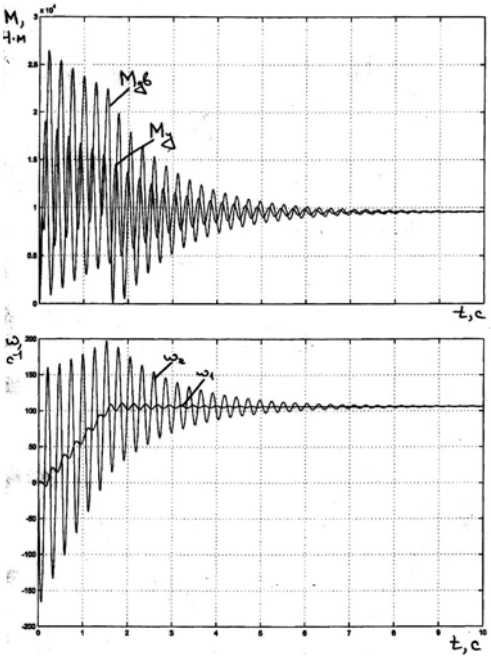

Рис. 6. Переходные процессы в системе Г–Д с ТВ с ПИ–регулятором тока и ГООСН

3. Для большего ограничения и демпфирования колебаний (в обеих системах УВ–Д и Г–Д с ТВ) необходимо введение дополнительных обратных связей по моменту нагрузки в упругом элементе, которые обеспечивают наилучшие результаты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ляхомский А.В., Фащиленко В.Н.* Управление электромеханическими системами горных машин: Монография. – М.: Изд-во МГГУ, 2004. – 296 с.

2. *Справочник* по автоматизированному электроприводу/ Под ред. В.А. Елисеева и А.В. Шинянского. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 606 с.

Коротко об авторах

Валиев Р.М., Фащиленко В.Н. – Московский государственный горный университет,
Попельнюхов В.И. – ЛГОК.