

УДК 622-625.28-83

**О. Н. Синчук**, д-р техн. наук,  
**Э. С. Гузов, И. О. Синчук**, кандидаты техн. наук,  
**Д. А. Шокарев, Е. И. Скапа**

## О РЕАЛИЗАЦИИ ЗАКОНА ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЯГОВЫМ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИМ КОМПЛЕКСОМ

**Аннотация.** Приведено обоснование и рекомендуемый алгоритм реализации закона оптимального управления тяговым электрическим комплексом “Преобразователь – асинхронный двигатель” двухосных промышленных электровозов. Это позволит получить требуемые “мягкие” характеристики тягового комплекса, увеличить тяговое усилие электровоза при сохранении мощности за счет увеличения сцепного веса и понижения скорости движения локомотива.

**О. М. Синчук**, д-р техн. наук,  
**Е. С. Гузов, И. О. Синчук**, кандидаты техн. наук,  
**Д. А. Шокарев, Е. И. Скапа**

## ПРО РЕАЛІЗАЦІЮ ЗАКОНУ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛІННЯ ТЯГОВИМ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИМ КОМПЛЕКСОМ

**Анотація.** Наведено обґрунтування і рекомендовано алгоритм реалізації закону оптимального управління тяговим електричним комплексом “Перетворювач – асинхронний двигун” двоосних промислових електровозів. Це дозволить отримати необхідні “м’які” характеристики тягового комплексу, збільшити тягове зусилля електровоза при збереженні потужності за рахунок збільшення зчепної ваги і зниження швидкості руху локомотива.

**O. N. Sinchuk**, ScD.,  
**E. S. Guzov**, PhD, **I. O. Sinchuk**, PhD,  
**D. A. Shokar'ov**, **E. I. Skapa**

## ON THE IMPLEMENTATION OF THE OPTIMAL CONTROL LAW TRACTION ELECTROTECHNICAL COMPLEX

**Abstract.** The substantiation and recommended algorithm of realization of the law of optimal control of traction electric complex: “Converter of the asynchronous engine” four-industrial electric locomotives.. That will allow to get the required “soft” characteristics of the complex, increase traction electric locomotive with the power, by increasing the coupling weight and decreasing the speed of the locomotive.

**Введение.** На промышленных предприятиях Украины эксплуатируется около четырех-пяти тысяч различных промышленных двухосных электровозов сцепной массой 7-14 т. Практически 100 % этого парка оснащены неэффективной контактно-резисторной системой управления тяговыми электротехническими комплексами (ТЭТК) постоянного тока [2].

Основной из причин задержки, в освоении серийного выпуска ожидаемых промышленностью новых энергоэффективных образцов, какими являются ТЭТК «IGBT-преобразователи-асинхронные тяговые двигатели», является отсутствие обоснования тяговых параметров как слагаемых для реализации закона управления всем тяговым комплексом в целом [1].

**Цель исследований.** Обоснование и разработка алгоритма для реализации закона оптимального управления асинхронным тяговым электротехническим комплексом двухосных промышленных электровозов.

**Постановка задачи исследования.** Априорная оценка качественных показателей асинхронных ТЭТК по сравнению с существующими видами на основе тяговых электрических двигателей (ТЭД) постоянного тока показывает следующие преимущества первого варианта:

- повышение в 4-5 раз надежности тяговых асинхронных двигателей (ТАД) и безопасности их эксплуатации в условиях повышенной опасности, в особенности в шахтах и рудниках;
- возможность ожидаемого снижения габаритов тяговых

двигателей и увеличения их мощности на 20 % в рамках существующих массогабаритных показателей;

- снижение стоимости ТАД по сравнению с ТЭД постоянного тока при тех же мощностях;
- исключение частот вращения тяговых двигателей, превышающих допустимые ;
- получение более высокого КПД всей тяговой системы на 2–4 %;
- значительное снижение (в 2–3 раза) затрат на обслуживание и ремонт ТАД;
- плавное бесступенчатое регулирование тягового и тормозного усилия электровоза.
- возможность функционирования в синергетическом варианте – контактно-аккумуляторный электровоз.

Однако воплощение всех достоинств ТЭТК с ТАД возможно только на основе обоснованного алгоритма управления, реализующего закон оптимального управления тяговым комплексом [2].

**Материалы исследования.** На подземных предприятиях горнометаллургического комплекса Украины в настоящее время применяют тяжелые двухосные электровозы типа К14. Масса этих электровозов во многих случаях недостаточна по технологии доставки подземных ископаемых, поэтому на ряде шахт используют по два электровоза в составе – так называемые «спаренные» электровозы. При этом размер состава увеличивается вдвое, что создает сложности в организации движения, снижает скорость движения [3].

Помимо этого, острым продолжает оставаться вопрос безопасности обслуживания погрузочно-разгрузочных операций в подземных условиях, когда рабочие вынуждены

находиться в непосредственной близости от контактного провода (КП).

Эффективным решением данной проблемы является применение контактно-аккумуляторных типов электровозов, когда в опасных для обслуживания местах состав питается от аккумуляторных батарей (АБ). При этом по условиям тяги уровень напряжения АБ достаточен  $U_{AB} = 80$  В.

Тактику построения систем управления тяговых электротехнических комплексов целесообразно рассматривать в увязке с совершенствованием характеристик электровозов и добавлением новых тяговых возможностей, т.е. решать задачу комплексно.

В данной статье предлагается для новых электровозов, при сохранении тех же параметров привода, увеличить массу электровозосостава приблизительно на 20 % путем реализации закона оптимального управления ТЭТК. Обозначим этот тип электровоза К16А – контактный (контактно-аккумуляторный), массой 16 т, с асинхронным тяговым приводом. В частности, при выборе параметров ТАД необходимо учитывать тот факт, что естественные механические характеристики асинхронных двигателей очень жесткие и малоприспособлены для условий электрической тяги. Но современные способы и средства регулирования ТЭТК позволяют получить более совершенные ожидаемые тяговые характеристики.

Академиком М.П. Костенко установлен закон оптимального регулирования, в соответствии с которым получаются наилучшие КПД и коэффициент мощности [1]. Согласно этому закону соотношение между вращающим моментом, частотой и напряжением на двигателе:

$$u_i / u = (f_i / f) \sqrt{M / M_i} \quad (1)$$

где  $u$  и  $u_i$  – действительное и номинальное значение напряжения;  $f$  и  $f_i$  – действительное и номинальное значение частоты;  $M$  и  $M_i$  – действительное и номинальное значение вращающего момента.

Преобразуя уравнение (1) подстановкой вместо моментов силы тяги, получим:

$$u_i / u = (f_i / f) \sqrt{F / F_i} \quad (2)$$

Если в процессе регулирования задавать напряжение  $u$ , а тяговое усилие  $F$  будет определяться условиями движения, то частота должна быть:

$$f = f_i \cdot (u / u_i) \sqrt{F_i / F} \quad (3)$$

В соответствии с рассмотренным законом оптимального регулирования построены (рис. 1) тяговые характеристики электровоза К16А (сплошная линия) при работе в режиме питания от контактной сети ( $U_c = 275$  В) и при питании от аккумуляторной батареи ( $U_0 = 80$  В). Они напоминают характеристики двигателей постоянного тока последовательного возбуждения (пунктирные линии).

Как видим, формы тяговых характеристик обоих электровозов (предлагаемого К16А и существующего К14) с различными типами двигателей (постоянного тока и асинхронным) оказались весьма близки.

Полученные «мягкие» тяговые характеристики, как известно, в условиях электрической тяги по сравнению с жесткими характеристиками имеют ряд преимуществ: более равномерное распределение нагрузок между тяговыми двигателями, меньшее влияние изменений условий движения и изменений напряжения в контактной сети, а также меньшая мощность, потребляемая из сети [1]. При необходимости в данном виде ТЭТК может быть предусмотрено также ограничение скорости по условию допустимого тормозного пути. При построении системы автоматического управления

необходимо предусматривать также ограничение максимальных токов и моментов, что значительно повысит надежность электрических и механических элементов тяговых систем электровозов.

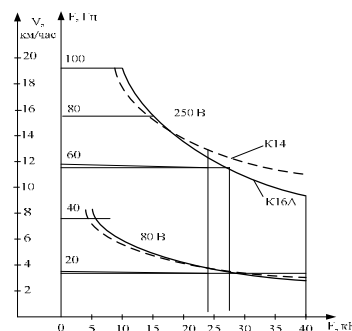


Рис.1. Тяговые характеристики электровозов К14 и К16А при напряжениях питания 250 и 80 В ( $\Psi = 0,25$ )

**Выводы.** Применение закона оптимального регулирования электротехническим комплексом на базе IGBT-инверторов и ТАД позволит:

- получить требуемые «мягкие» характеристики тягового комплекса;
- увеличить тяговое усилие электровоза на 20 %, при сохранении мощности;
- повысить за счет увеличения массы электровоза и плавного бесступенчатого регулирования частоты вращения ТАД производительность электровозов на 20 %.

#### Список использованной литературы

1. Осипов С.И. Основы электрической и тепловой тяги / С.И.Осипов – М.: Транспорт, 1985. – 408 с.
2. Системы управления шахтным электровозным транспортом / О.Н. Синчук, Э.С. Гузов, Н.И. Шулин, П.К. Саворский – К.: Техніка, 1985. – 198 с.
3. Ющенко А.И. Справочник машиниста рудничного локомотива / А.И. Ющенко, В.П. Гудалов – М.: Недра, 1981. – 200 с

Получено 07.06.2011



Синчук Олег Николаевич, д.т.н., проф., зав. каф. «Системы эл.снабж. и энергетич. менедж.» Кременчуг. нац. ун-та им. М. Остроградского, тел. (05366) 3-00-50  
 E-mail seem@kdu.edu.ua



Шокарев Дмитрий Анатоліевич, ст. преп. той же кафедры, тел. 096-596-98-55  
 E-mail seem@kdu.edu.ua



Скапа Эвгеній Іванович, студент Кременчуг. нац. ун-та им. М. Остроградского, тел. 097-949-83-40  
 E-mail seem@kdu.edu.ua



Гузов Эдуард Семенович, к.т.н., доц. каф. «Эл.снабж. и ресурсосбереж.» Криворож. гос. ун-та, тел. 097-381-21-92  
 EE@rambler.ru



Синчук Игорь Олегович, к.т.н., доц. той же каф. Криворожского госуд. ун-та тел. 067-465-55-54  
 E-mail EE@rambler.ru