

Из таблицы 2 видно, что значение показателя преломления стеклошариков, прошедших плазменную обработку, снижается.

Результаты исследований плотности стеклошариков представлены в таблице 3.

У свинцовых хрусталей плотность уменьшалась за счет испарения тяжелых оксидов свинца. Плотность сортовых стеклошариков увеличивалась за счет испарения щелочных и некоторых других оксидов.

Таблица 3

Плотность стеклошариков, прошедших плазменную обработку

№ п/п	Наименование стеклошариков	Плотность, г/см ³	
		до плазменной обработки	после плазменной обработки
1	Молочное стекло	2,22	2,28
2	Бесцветное стекло	2,26	2,32
2	Кобальтовое стекло	2,25	2,31
3	Хрусталь свинцовый	2,91	2,84
4	Хромовое стекло	2,27	3,34
5	Кадмиевый рубин	2,26	2,30

В отдельных случаях при плазменной обработке в стеклах из свинцовых хрусталей может наблюдаться незначительное расстекловывание с образованием различных силикатов. С использованием метода рентгенофазового анализа было установлено, что в свинцовом хрустале после его плазменной обработки образуется незначительное количество силикатов свинца $PbSiO_4$ ($d=3,21; 3,11; 2,98$). У бесцветных сортовых стеклошариков, прошедших плазменную обработку, имела место частичная выкристаллизация различных полиморфных фаз кремнезема (кварц).

Хромовое стекло, молочное стекло и кобальтовое стекло после плазменной обработки цвет не меняли. Однако, кадмиевый рубин (который относится к наводящимся стеклам) — свою окраску менял. Так, кадмиевый рубин бледно-розового цвета практически полностью обесцвечивался за счет разложения красящего комплекса $CdSe \cdot CdS$. Красные кадмиевые рубины после плазменной обработки за счет вышеуказанного процесса и частичного испарения кадмия и селена переходили в розовый цвет. Темно-красные и коричневые рубины после плазменной обработки переходили в алые и ярко-красные цвета.

Анализ полученных экспериментальных данных позволяет констатировать, что при плазменной обработке стеклошариков происходит плавление и сфероидизация. За счет высоких температур плазмы стекло изменяет свой хими-

ческий состав вследствие частичного испарения его ингредиентов, изменяется плотность, показатель преломления и термические свойства.

Проведенные исследования позволяют расширить области применения стеклошариков на основе сортовых стекол.

**ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ
ЗАКОНОМЕРНОСТИ В ОБЛАСТИ
МНОГОФАЗНЫХ ИНВЕРТОРНЫХ
ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ
ПЕРЕМЕННОГО ТОКА**

Бражников А.В., Белозеров И.Р.

*ГАОУ ВПО «Сибирский федеральный
университет»
Красноярск, Россия*

Среди всего многообразия существующих в настоящее время электромеханических систем (ЭМС) в отдельный класс можно выделить инверторные ЭМС переменного тока. В частности, к данному классу ЭМС относятся синхронные и асинхронные частотно-регулируемые инверторные электроприводы, металлургические магнитогидродинамические (МГД) системы, осуществляющие электромагнитное перемешивание жидких металлов в печах, ковшах и пр., а так-

же другие системы. Исполнительными устройствами (ИУ) в ЭМС этого класса являются электродвигатели переменного тока (в инверторных электроприводах), электромагнитные вращатели жидкого металла (в МГД системах) и т. д., питание которых осуществляется от преобразователей частоты. Чаще всего в качестве последних в ЭМС рассматриваемого класса применяются преобразователи частоты со звеном постоянного тока, построенные на базе автономных инверторов напряжения.

Изучение инверторных ЭМС указанного класса (в дальнейшем — ИЭМС) при числах m фаз этих систем, равных пяти и более, позволяет выявить некоторые фундаментальные закономерности, характерные для ИЭМС, но не проявляющиеся при числах их фаз, равных трем и четырем. Знание этих специфических закономерностей имеет не только чисто научное (познавательное), но и важное практическое значение, поскольку игнорирование упомянутых закономерностей неизбежно приводит к снижению коэффициента полезного действия (КПД) ИЭМС при увеличении числа m фаз последних более четырех. Кроме того, исследование ИЭМС при $m \geq 5$ позволяет уточнить и даже изменить некоторые (ставшие уже традиционными) представления об оптимальной конструкции отдельных элементов ИЭМС.

На сегодняшний день авторами этой работы в результате проведения соответствующих исследований установлены два описанных ниже, неизвестных ранее закона пространственно-временных спектральных соответствий, относящиеся к разряду фундаментальных законов для ЭМС рассматриваемого класса и справедливые для случая симметричных статорных обмоток ИУ и установившихся режимов работы ИЭМС.

Первый из этих законов связывает между собой КПД η ИЭМС и относительные амплитудные спектры $U^*(c)$ и $B^*(n)$ соответственно выходного фазного напряжения $u(t)$ инвертора и периодической функции $b(\gamma)$, описывающей в пределах протяженности одного полюсного деления магнитопровода статора ИУ распределение в пространстве рабочей зоны исполнительного устройства ИЭМС магнитной индукции, создаваемой каждой фазной обмоткой статора ИУ, где $U^*(c)$ — относительный амплитудный спектр напряжения $u(t)$, являющегося одновременно и фазным напряжением исполнительного устройства ИЭМС; $U^*(c) = U(c)/U(1)$; $U(c)$ — амплитудный спектр напряжения $u(t)$; c — порядки (номера) гармоник напряжения $u(t)$; $U(1)$ — амплитуда основной (первой) гармоники напряжения $u(t)$; $B^*(n)$ — относительный амплитудный спектр функции $b(\gamma)$; $B^*(n) = B(n)/B(1)$; $B(n)$ — амплитудный спектр функции $b(\gamma)$;

n — порядки (номера) гармоник функции $b(\gamma)$; $B(1)$ — амплитуда основной (первой) гармоники функции $b(\gamma)$; t — время; γ — пространственная координатная ось, проходящая вдоль рабочей зоны ИУ (расточка статора); $\gamma \in [0; 2\pi]$.

Под рабочей зоной исполнительного устройства ИЭМС, в частности, подразумеваются: воздушный зазор между статором и ротором синхронного или асинхронного электродвигателя (в случае инверторного электропривода), часть массива жидкого металла, примыкающая непосредственно к стенке металлургической печи, ковша и т.п. (в случае электромагнитного перемешивателя жидкого металла) и т.д.

Величины $U^*(c)$ и $B^*(n)$ — безразмерные. Их огибающие могут быть построены на одной координатной плоскости kOd (в ортогональных по отношению друг другу координатных осях: горизонтальной Ok и вертикальной Od) графиков функций, описывающих огибающие спектров $U^*(c)$ и $B^*(n)$, где $k \equiv c$ для $U^*(c)$; $k \equiv n$ для $B^*(n)$. При построении названных графиков значения амплитуд соответствующих частотных составляющих (гармоник) $U^*(k)$ и $B^*(k)$ откладываются по вертикальной оси Od .

Упомянутый выше закон получил название «закона m -инвариантности КПД ИЭМС» (или, более кратко, — «закон m -инвариантности») и формулируется следующим образом: для обеспечения инвариантности КПД η ИЭМС по отношению к числу m ее фаз огибающая спектра $U^*(k)$ должна проходить ниже огибающей спектра $B^*(k)$ на координатной плоскости kOd ; при этом спектральный состав функции $b(\gamma)$ должен быть (как минимум) идентичен спектральному составу функции $u(t)$ или (как максимум) шире последнего.

Второй закон касается области фазно-полюсного управления (ФПУ) [1, 4] многофазными ИЭМС и связывает между собой КПД η ИЭМС, спектр $U^*(c)$ и $B^*(n)$, а также целочисленный параметр ФПУ $H \geq 1$, показывающий, во сколько раз при ФПУ фазовое смещение между выходными напряжениями соседних фаз инвертора больше, чем при обычном (традиционном) управлении многофазным инвертором. Этот закон получил название «закона H -инвариантности КПД ИЭМС» (или, более кратко, — «закон H -инвариантности»). Он формулируется следующим образом: для обеспечения инвариантности КПД η ИЭМС по отношению к параметру H в процессе фазно-полюсного управления ИЭМС должно обеспечиваться тождество $B^*(n) \equiv B^*(H \cdot n)$; при этом при всех значениях параметра H для спектра $U^*(c)$ должен выполняться закон m -инвариантности.

Обеспечение выполнения закона H -инвариантности достигается за счет применения

специальных конструкций статоров многофазных ИЭМС, описанных, например, в [1, 3].

При нарушении описанных выше законов КПД η ИЭМС уменьшается при увеличении числа ее фаз, а также при переходе от традиционного управления к ФПУ. В основе этого явления лежит, в частности, эффект компенсационной фильтрации, возникающий в процессе обмена энергией между отдельными звеньями ИЭМС и описанный в [2].

Список литературы:

1. Бражников А.В., Пантелеев В.И., Довженко Н.Н. Фазно-полусное управление многофазными асинхронными инверторными электроприводами // *Электрика*, № 3, 2005. — С. 22-27.

2. Бражников А.В., Гилев А.В., Белозеров И.Р., Хомич Л.В. Явление и метод компенсационной фильтрации полигармонических компонент периодических сигналов // *Современные наукоемкие технологии*. — № 10, 2009. — С. 17-25.

3. Бражников А.В., Белозеров И.Р. Многофазный асинхронный инверторный электропривод с фазно-полусным управлением / Решение от 13.09.2010 г. о выдаче патента по заявке № 2010130384/07(043129).

4. Brazhnikov, A.V., and Dovzhenko, N.N. Control Potentials and Advantages of Multiphase AC Drives // *Proceedings of 29th IEEE International Conference on Power Electronics "PESC' 98"*. — Fukuoka, Japan, 17-22 May 1998. — Vol. 2. — Pp. 2108-2114.

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО И РАЦИОНАЛЬНОГО ТИПОВ ПОГРУЗОЧНО-ТРАНСПОРТНЫХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ НАГОРНЫХ КАРЬЕРОВ

Волков Е.С., Плютов Ю.А.

Сибирский федеральный университет

В настоящее время на нагорных карьерах мира преимущественно используется автомобильный транспорт в комплексе с экскаваторами или ковшовыми погрузчиками. Его эксплуатация характеризуется высокой энергоемкостью (большим расходом топлива), значительной себестоимостью транспортирования груза, сложными трассами и загрязнением окружающей среды. В качестве альтернативы нами предлагается использовать аэростатно-канатные транспортные системы, которые могут обеспечить полную энергетическую автономность ра-

боты по кратчайшему пути над поверхностью. При этом будут достигнуты высокие показатели по энергосбережению и экологии транспортных работ.

Сравнение существующих и предлагаемых транспортных систем нагорных карьеров осуществляется по критериям эффективности, которые определяются в ходе экономико-математического моделирования на ПК. К этим критериям относятся себестоимость транспортирования груза, удельный расход энергии, производительность, показатели надежности и экологические свойства. Разработанная экономико-математическая модель предусматривает выбор оптимального (по одному критерию эффективности) и рационального (по совокупности критериев эффективности) вариантов. Предварительные расчеты показывают, что аэростатно-канатные транспортные установки по сравнению с автотранспортом имеют меньшие себестоимость и удельный расход энергии, но и меньшую производительность, а также низкий коэффициент технической готовности. Для нагорных карьеров с годовой производительностью от 0,2 до 2,5 млн. тонн и насыпной плотности транспортируемых грузов от 1,5 до 2,5 т/м³ рациональным является погрузочно-транспортный комплекс с аэростатно-канатной гравитационной установкой (расстояние транспортирования груза в различных транспортных схемах варьировалось от 1,5 до 8 км). На основе полученных результатов разрабатывается методика выбора эффективной транспортной схемы нагорных карьеров.

ГРАВИТАЦИОННО-ИНЕРЦИАЛЬНОЕ ОРИЕНТИРОВАНИЕ ОБЪЕКТОВ

Дмитриев В.С., Гладышев Г.Н.*,
Гладышев Ю.Г.*, Иванова В.С.,
Швецов Г.А.**

*Томский политехнический университет
*НПЦ «Полюс», г. Томск
** Всероссийский лазерный центр
«Радуга», г. Владимир, Россия*

Отправной точкой начала данной работы послужило открытие Г.А. Швецовым универсального механизма ориентирования животных и установленные закономерности этого явления, которые объясняют и снимают все противоречия различных гипотез ориентации животных в пространстве [1, 2].

Жизненная необходимость ориентирования на местности возникла перед человеком в те давние времена, когда в процессе хозяйственной