

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 <sup>3</sup>	
		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  $\eta$  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;  $\gamma$  — 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  $\eta$  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  $\eta$  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  $\eta$  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  $\eta$  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-полосное 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-полосным 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/м<sup>3</sup> 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