

Г. К. Смолин, О. И. Ключников,
Н. А. Веселова

НОВЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ – МАГНИТОГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ

Физические явления и процессы, связанные с получением, преобразованием, передачей и использованием энергии в различных формах, находятся в центре внимания ученых и инженеров и непосредственно затрагивают каждого человека. Эти проблемы приобретают особую актуальность в настоящее время, когда запасы традиционных энергоносителей истощаются, а потребность в энергии для дальнейшего научно-технического прогресса растет.

В соответствии с научно обоснованной стратегией энергетического обеспечения развития экономики предусматривается развитие ядерной энергетики, применение микро- и минигидроэлектростанций, вовлечение в энергетический баланс нетрадиционных и возобновляемых источников энергии – солнечной, ветровой, геотермальной и др. [1–3]. При этом большое внимание уделяется вопросам энергосберегающих и безотходных технологий, повышения эффективности использования топлива и энергии в промышленности, на транспорте и в быту. Одновременно ставятся задачи экологического воспитания, бережного отношения к природе, учета экологических требований при обосновании технических решений. В этой связи для широкого круга специалистов разных уровней, занятых в народном хозяйстве, а также для учащихся, студентов, аспирантов и преподавателей профессиональных учебных заведений становится особенно актуальным ясное понимание физических основ современной энергетики и тенденций ее развития.

Эволюция представлений о видах энергии привела к научно обоснованному выводу, что по упорядоченности, концентрации, способности превращаться в широко используемые виды энергии (тепловую и механическую), скорости такого превращения, возможности экономично передаваться на дальние расстояния электрическая энергия имеет несомненный приоритет перед множеством других видов энергии. Поэтому среди преобразователей энергии по степени их важности для энергетики особое место

занимает электрическая машина, которая является сердцем электроэнергетической установки.

Электрическая машина имеет 130-летнюю историю, так как принцип обратимости электрической машины стал использоваться в широких масштабах, начиная лишь с 70-х гг. XIX в., а в предшествовавшие этому 50 лет электродвигатель и электрогенератор создавались раздельно.

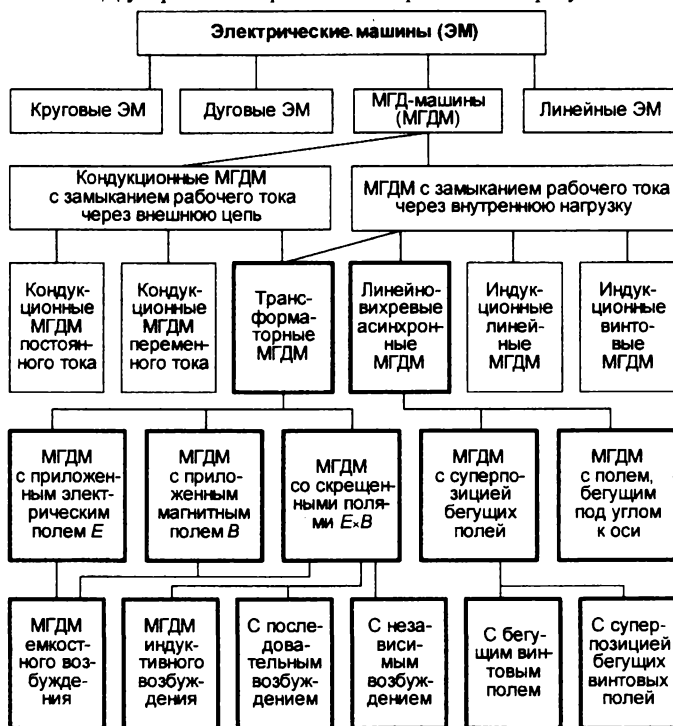
Магнитогидродинамические (МГД) машины относятся к электрическим машинам. В отличие от традиционных электрических машин в МГД-машинах в качестве рабочего тела используется жидкая или газообразная сплошная проводящая среда – жидкий металл, плазма. Исследования МГД-машины приобрели значительные масштабы в последние десятилетия в связи с развитием атомной энергетики, созданием реакторов на быстрых нейтронах, в которых используется жидкометаллический теплоноситель (щелочные металлы и их сплавы). Для перекачки теплоносителя реакторной чистоты созданы МГД-насосы большой производительности [4]. Ядерный реактор с МГД-генератором является основой для создания автономной электрической установки будущего.

На современном этапе научно-технического прогресса назрела потребность промышленности в МГД-технике, способной обеспечить высокий уровень механизации и автоматизации тяжелых производственных операций в технологических процессах с металлическими расплавами, сделать эти процессы энергосберегающими, безотходными, экологически чистыми. Попытки использовать в металлургии и литейном производстве МГД-технику, хорошо зарекомендовавшую себя в ядерной энергетике, оказались безуспешными, так как здесь расплавы агрессивны, имеют более высокую температуру, множество примесей [5; 6].

Практика показала необходимость создания специальной металлургической МГД-техники, которая могла бы работать в агрессивных атмосферах с химически активными металлическими расплавами, имеющими высокую температуру (7000 °C и выше). Важное значение имеет также создание устройств с широким спектром технологических возможностей [7].

Анализ мирового уровня и тенденций развития МГД-техники позволил выделить главные показатели и выдвинуть гипотезу: требованиям, предъявляемым к металлургическому оборудованию, удовлетворяли бы МГД-устройства, не имеющие обмоток или имеющие простейшие по конструкции обмотки, которые легче охлаждать, а также имеющие простые ка-

налы (в идеале – в виде круглой трубы), которые можно изготовить из огнеупора. Синтез МГД-устройств с такими свойствами экономически целесообразно осуществить, выявляя и преодолевая основные технические противоречия, в классе трансформаторных МГД-устройств, а также в классе линейно-вихревых асинхронных МГД-устройств. Определено место этих классов в электрических машинах, выполнена классификация электрических машин по виду приложенного поля (рисунок) и по другим признакам. Например, по типу канала МГД-устройства делятся на плоские, цилиндрические, дисковые, кольцевые, винтовые, спиральные; по характеру замыкания рабочего тока с электрическим контактом – на бесконтактные, гарнисажные; по числу фаз – на одно-, двух-, трехфазные; и т. д. Совокупность комплексов МГД-устройств по различным признакам образует систему.



Классификация электрических машин (в жирных рамках – МГД-машины, разработанные в Российском государственном профессионально-педагогическом университете)

Сопоставлением результатов анализа системы и аналитического обзора научно-технической и патентной литературы очерчен круг задач, определяемых целью исследований. В частности, в литературе не освещены возможности трансформаторных МГД-устройств сепарировать металлические и шлакометаллические расплавы, готовить композиционные сплавы, работать в насосном и генераторном режимах с экономным потреблением реактивной мощности, увеличивать производительность в тех же габаритах, вводить кондукционно ток в массы металла.

Классификация МГД-устройств позволила выявить возможные МГД-устройства с известными признаками. Путем сопоставления их с приведенными в научной литературе данными определены конструкции, отличающиеся новыми свойствами. Однако для достижения главных показателей качества пришлось преодолевать технические противоречия, что потребовало создания принципиально новых МГД-устройств. Для этого предложен комплекс эвристических приемов: выполнение обмоток в виде многоходовых винтовых спиралей, змеевиков, каналов; использование перекачиваемого металла в качестве проводника обмоток, хладагента; замена медных электродов и шин на гарнисаж или жидкий металл, электрической емкости – на индуктивность; исключение в погружных устройствах магнитопровода или канала в МГД-машинах с пульсирующим полем; использование хладагента в качестве проводника тока или магнитного потока; использование пинч-эффекта, скин-эффекта, эффекта близости и др.; взаимокompенсация вредных эффектов; использование отводимого хладагентом тепла для его циркуляции в гравитационном поле; квазиутяжеление и квазиоблегчение, включая невесомость, металлов в электромагнитных полях; подавление краевого эффекта конструктивными мерами, в том числе трансформаторным вводом тока в индуктор бегущего поля; выполнение обмотки без соединений из цельной листовой или трубчатой заготовки; выполнение уязвимых элементов, быстро выходящих из строя, дешевыми и легко заменяемыми; использование элементов металлургического оборудования в качестве «элементов» МГД-устройств; наполнение огнеупорных элементов порошковым ферромагнетиком и использование их в качестве магнитопроводов; автоматический контроль целостности стенки огнеупорного канала; включение торцевых зон индуктора и лобовых частей обмоток в работу («вред на пользу»); использование листа Мебиуса; турбулизация потока хладагента и др. Эти эвристические приемы позволили

создать принципиально новые МГД-устройства; 50 из них составили предмет изобретений [8–25]; они предназначены для работы в электроэнергетике и металлургии, защищены авторскими свидетельствами и патентами.

На основе законов движения жидкого металла в электромагнитных полях, а также законов теории цепей с использованием электрических и магнитных схем замещения (интегральных и дифференциальных) построены комплексы физических и математических моделей, позволяющие выполнить глубокие и всесторонние исследования МГД-машин в статике и динамике в различных режимах (генераторном, насосном, режиме дозирования и др.). Промышленные испытания МГД-насосов показали их надежность на всех операциях технологического процесса¹.

Библиографический список

1. Смолин Г. К., Миронов А. В., Галкин А. М. Применение возобновляемых источников электроснабжения на предприятиях цветной металлургии // Выполнение мероприятий по совершенствованию электроснабжения на предприятиях цветной металлургии: Тр. Всесоюз. конф. М., 1988.

2. Смолин Г. К., Смолин Я. Г. МГД-генератор для использования вторичных энергоресурсов // Там же.

3. Смолин Г. К. Энергосберегающая установка прямого электронагрева // Проблемы энергетики Казахстана: Тр. междунар. конф. Алматы, 1994.

4. Глухих В. А., Тананаев А. В., Кириллов И. Р. Магнитная гидродинамика в ядерной энергетике. М., 1987.

5. Верте Л. А. Магнитная гидродинамика в металлургии. М., 1975.

6. Верте Л. А. МГД-технологии в производстве черных металлов. М., 1990.

7. Смолин Г. К. Системы трансформаторных и линейно-вихревых асинхронных МГД-устройств для высокотемпературных металлических расплавов // Тр. 1-й Междунар. конф. по электротехнологии. МКЭЭ – 94: В 3 ч. Суздаль, 1994. Ч. 1.

8. А. с. 299924 СССР. Электромагнитный насос / Смолин Г. К. Бюл. № 12. 1971.

¹ Данная работа выполнена при финансовой поддержке Российского гуманитарного научного фонда (проект № 04–06–00464а).

9. А. с. 687550 СССР. Индукционное устройство для нагрева и перемешивания жидких металлов / Смолин Г. К. Бюл. № 35. 1979.
10. А. с. 823803 СССР. Электрический нагреватель жидкого металла / Смолин Г. К., Ксенофонов В. П. Бюл. № 15. 1981.
11. А. с. 1007734 СССР. МГД-сепаратор / Смолин Г. К., Фетицов И. Н., Сафронов Ю. П. Бюл. № 12. 1983.
12. А. с. 1033833 СССР. Индукционная печь / Смолин Г. К. Бюл. № 29. 1983.
13. А. с. 1053228 СССР. Способ изготовления обмотки индукционной машины / Смолин Г. К., Савельев Ю. А. Бюл. № 41. 1983.
14. А. с. 106249 СССР. Электрическая солевая печь (ее варианты) / Смолин Г. К., Городецкий В. А. Бюл. № 47. 1983.
15. А. с. 1113173 СССР. МГД-сепаратор / Смолин Г. К. Бюл. № 34. 1984.
16. А. с. 1145291 СССР. Измеритель постоянного тока без разрыва электрической цепи / Городецкий В. А., Смолин Г. К. Бюл. № 10. 1985.
17. А. с. 1159642 СССР. МГД-сепаратор. Г. К. Смолин. Бюл. № 21. 1985.
18. А. с. 1161184 СССР. Электромагнитный сепаратор / Смолин Г. К., Городецкий В. А., Шин С. Н. Бюл. № 22. 1985.
19. А. с. 1179084 СССР. Теплообменник / Городецкий В. А., Смолин Г. К. Бюл. № 34. 1985.
20. А. с. 1183810 СССР. Индукционная печь / Смолин Г. К. Бюл. № 37. 1985.
21. А. с. 1359622 СССР. Устройство для контроля толщины футеровки металлургического агрегата / Смолин Г. К., Городецкий В. А. Бюл. № 46. 1987.
22. А. с. 1359623 СССР. Устройство для контроля толщины футеровки металлургического агрегата / Смолин Г. К., Городецкий В. А. Бюл. № 46. 1987.
23. А. с. 1461508 СССР. МГД-сепаратор / Смолин Г. К., Смолин Я. Г. Бюл. № 8. 1989.
24. А. с. 1669562 СССР. Устройство для очистки электродов / Смолин Г. К., Попов Ю. А. Бюл. № 30. 1992.
25. Пат. 2035827 РФ. Кондукционный электромагнитный насос / Смолин Г. К., Смолин Я. Г., Сарапулов Ф. Н. Бюл. № 14. 1995.