

К решению задачи повышения точности расчета выходных показателей электромагнитных машин

Шабанов А. С.¹, Аксютин В. А.²

¹Шабанов Андрей Сергеевич / Shabanov Andrei Serheevych – аспирант;

²Аксютин Валерий Аркадьевич / Aksyutin Valery Arkad'evich – кандидат технических наук, доцент, кафедра теоретических основ электротехники, факультет мехатроники и автоматизации,

Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск

Аннотация: показано, что существующие методики по учету нагрева электромагнитных машин не обеспечивают точного расчета выходных показателей. Рассматривается необходимость точного учета распределения нагрева по сечению электромагнитных машин.

Ключевые слова: электромагнитные машины ударного действия, нагрев и охлаждение машин, повышение точности расчетов.

Импульсные машины, созданные на базе линейного электромагнитного привода, используются в промышленности для обеспечения различных ударных технологий [1-5]. Расширение областей использования машин непосредственно связано с увеличением их удельных показателей [6-10], а также изучением процессов энергопреобразования [11, 12].

Несмотря на то, что данный класс машин широко известен, методы их расчета по-прежнему продолжают совершенствоваться [13-19].

Из всего многообразия электромагнитных ударных машин наиболее широкое применение в импульсных технологиях получили молотки, перфораторы, прессовое оборудование и молоты. Для этих машин характерны высокие значения отношений мощности потерь к полезной мощности. Это обусловлено низкими значениями КПД данных устройств при наиболее часто встречающихся значениях $\text{КПД} = 0,25 \dots 0,38$. Данное обстоятельство вынуждает разработчиков электромагнитных ударных машин прибегать к интенсивным способам охлаждения.

Практическая реализация интенсивных способов охлаждения связана с необходимостью использования дополнительного электродвигателя [20]. При этом теряется одно из главных преимуществ электромагнитных ударных машин, определяющих их конструктивную простоту.

Расчеты, учитывающие влияние тепловых нагрузок и связи их с выходными показателями машин являются одной из сложных задач проектирования. Такие параметры как энергия единичного удара, продолжительность времени работы при заданной частоте ударов связаны с режимами работы этих машин.

Из анализа применяемых на практике конструкций электромагнитных машин следует значительное различие их технико-экономических показателей. В большинстве случаев, приводимые в научной литературе технические характеристики машин представлены без учета процессов нагрева.

Актуальной является задача по определению из условия допустимого нагрева по известным параметрам энергии удара и частоты ударов в продолжительном, кратковременном и повторно-кратковременном режиме работы электромагнитных машин с естественным способом охлаждения. Решение такой задачи позволит рассчитать указанные параметры и точно оценить технические возможности электромагнитных машин и устройств.

Большинство существующих методик оценочных тепловых расчетов не учитывают распределение нагрева по сечению двигателя.

Технические показатели электромагнитных ударных машин, полученные экспериментальным путем, представлены в таблице 1 [21]. Выходные показатели, как энергия и частота ударов представленных машин, могут изменяться в широких пределах.

Таблица 1. Показатели электромагнитных машин

№ п/п	Тип электромагнитной машин	Энергия удара A_y , Дж	КПД η , %	Частота, уд/мин	Масса двигателя М, кг
1	Пресс: ПЭМ-0,1	3,0	30	360	1,3
2	Пресс: ПЭМ-0,2	5,0	30	300	2,5
3	Пресс: ПЭМ-0,3	7,0	31	300	3,9
4	Пресс: ПЭМ-0,5	12	27	250	6,0
5	Пресс: ПЭМ-0,8	17	25	250	10

6	Пресс: ПЭМ-1,0	20	25	200	11
7	Пресс: ПЭМ-3,0Д	250	40	120	64
8	Молот: ЭМ	400	40	400	80
9	Молот: МЭМ-180	1800	24	90	485
10	Молот: МЭМ-600	6000	28	90	1900
11	Молот: МЭМ-1000	10000	29	75	2200
12	Молот: МЭМ-3000	30000	36	80	4700
13	Молот: МЭМ-10000	100000	25	24	14300

В известных работах [20-26] при выводе уравнений приняты допущения одномерности температурного поля обмотки машины и независимости теплофизических параметров обмотки и коэффициента теплоотдачи с поверхности от нагрева.

Результаты оценочных расчетов исследуемых режимов по исходным данным, соответствующим известным электромагнитным ударным машинам при естественном способе охлаждения, являются только приближенными.

Учитывая, что разница температуры по сечению машин может достигать значений 30...60°C, необходимость разработки более точных и простых подходов к расчету электромагнитных машин является сегодня решением актуальной задачи.

Литература

1. Аксютин В. А. Прессовое оборудование с линейным электромагнитным приводом для механизации технологических процессов ударной сборки и штамповки мелких изделий / В. А. Аксютин, Л. А. Нейман, В. Ю. Нейман, А. А. Скотников // Актуальные проблемы в машиностроении. 2015. № 2. С. 220–224.
2. Нейман Л. А., Нейман В. Ю. Низкочастотные ударные электромагнитные машины и технологии // Актуальные проблемы в машиностроении. 2014. № 1. С. 256–259.
3. Нейман Л. А., Нейман В. Ю. Исследование двухкатушечной синхронной электромагнитной машины с инерционным реверсом боя / Современные проблемы теории машин. 2014. № 2. С. 109–110.
4. Нейман Л. А. Синхронный электромагнитный механизм для виброударного технологического оборудования // Справочник. Инженерный журнал с приложением. 2014. № 6 (207). С. 17–19.
5. Нейман Л. А., Нейман В. Ю. Линейные синхронные электромагнитные машины для низкочастотных ударных технологий // Электротехника. 2014. № 12. С. 45–49.
6. Нейман В. Ю. Режимы форсированного аккумулирования магнитной энергии в импульсных линейных электромагнитных двигателях / В. Ю. Нейман // Научный вестник Новосибирского государственного технического университета. 2003. № 1. С. 105–112.
7. Нейман В. Ю., Петрова А. А. Сравнение способов форсировки импульсных линейных электромагнитных двигателей // Электротехника. 2007. № 9. С. 47а–50.
8. Нейман В. Ю. К вопросу о рационализации рабочих процессов и выбора конструктивных схем электромагнитных ударных машин // Автоматизированные электромеханические системы: Коллективная монография / Новосиб. гос. техн. ун-т; Под ред. В. Н. Аносова. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2004. С. 155–170.
9. Нейман Л. А., Нейман В. Ю. Новые конструктивные решения проблемы точной синхронизации возвратно-поступательного движения бойка неуправляемой электромагнитной машины ударного действия // Актуальные проблемы в машиностроении. 2015. № 2. С. 280–285.
10. Нейман В. Ю. Способы повышения энергетических показателей однообмоточных импульсных устройств с электромагнитным возбуждением / В. Ю. Нейман, Д. М. Евреинов, Л. А. Нейман, А. А. Скотников, Ю. Б. Смирнова // Транспорт: Наука, техника, управление: Научный информационный сборник. М.: Изд-во ВИНТИ, 2010. № 8. С. 29–31.
11. Малинин Л. И., Нейман В. Ю. Определение напряжения преобразования энергии и электромагнитных сил в электромеханических системах // Электричество. 2008. № 6. С. 57–62.
12. Нейман Л. А. Анализ процессов энергопреобразования в однокатушечной синхронной электромагнитной машине с двухсторонним выбегом боя // Известия Томского политехнического университета. 2013. № 4, Т. 323. С. 112–116.
13. Нейман Л. А., Нейман В. Ю. Повышение точности аналитического расчета радиальных сил одностороннего магнитного притяжения некоаксиальных элементов магнитопровода // Научный вестник Новосибирского государственного технического университета. 2015. № 1 (58). С. 246–256.
14. Нейман Л. А., Нейман В. Ю. Применение метода проводимостей для учета силы одностороннего магнитного притяжения асимметричного электромагнита // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2015. № 2 (97). С. 214–218.

15. Соловейчик Ю. Г. Оптимизация геометрии линейных электромагнитных двигателей с использованием конечноэлементного моделирования магнитного поля / Ю. Г. Соловейчик, В. Ю. Нейман, М. Г. Персова, М. Э. Рояк, Ю. Б. Смирнова, Р. В. Петров // Известия вузов. Электромеханика. 2005. № 2. С. 24–28.
16. Нейман В. Ю., Нейман Л. А., Петрова А. А. Расчет показателя экономичности силового электромагнита постоянного тока с помощью моделирования магнитного поля // Транспорт: Наука, техника, управление: Научный информационный сборник. М.: Изд-во ВИНТИ, 2008. № 6. С. 21–24.
17. Нейман Л. А., Нейман В. Ю. Моделирование динамических процессов в электромагнитных преобразователях энергии для систем генерирования силовых воздействий и низкочастотных вибраций // Известия Томского политехнического университета. 2015. Т. 326. № 4. С. 154–162.
18. Нейман В. Ю. Расчет показателя экономичности силового электромагнита постоянного тока с помощью моделирования магнитного поля / В. Ю. Нейман, Л. А. Нейман, А. А. Петрова // Транспорт: Наука, техника, управление: Научный информационный сборник. – М.: Изд-во ВИНТИ. 2008. № 6. С. 21–24.
19. Нейман Л. А. Динамическая модель электромагнитного привода колебательного движения для систем генерирования низкочастотных вибраций / Л. А. Нейман, В. Ю. Нейман // Доклады Академии наук высшей школы Российской Федерации. 2015. № 3 (28). С. 75–87.
20. Нейман В. Ю., Нейман Л. А. Оценка конструктивного совершенства систем принудительного охлаждения синхронных электромагнитных машин ударного действия // Журнал Сибирского Федерального университета. Серия: Техника и технологии. 2015. № 2, Т. 8. С. 166–175.
21. Угаров Г. Г. Анализ показателей электромагнитных ударных машин / Г. Г. Угаров, В. Ю. Нейман // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 1996. № 2. С. 72–80.
22. Нейман Л. А. Исследование нагрева электромагнитного двигателя в переходных режимах / Л. А. Нейман, А. А. Скотников, В. Ю. Нейман // Известия вузов. Электромеханика. 2012. № 6. С. 50–54.
23. Нейман В. Ю. Сравнение геометрически подобных систем электромагнитов по условию постоянства теплового критерия / В. Ю. Нейман, Л. А. Нейман, А. А. Петрова // Электротехника. 2011. № 12. С. 14а–16.
24. Нейман Л. А., Нейман В. Ю., Шабанов А. С. Упрощенный расчет электромагнитного ударного привода в повторно-кратковременном режиме работы // Электротехника. 2014. № 12. С. 50–53.
25. Нейман Л. А. Приближенный расчет циклического электромагнитного привода с учтенным начальным превышением температуры в переходном тепловом процессе нагрева // Доклады Академии наук высшей школы Российской Федерации. 2014. № 1 (22). С. 113–122.
26. Нейман Л. А. Оценка перегрузочной способности ударного электромагнитного привода по средней температуре перегрева в переходных режимах // Известия вузов. Электромеханика. 2013. № 6. С. 58–61.