DOI: 10.17117/na.2016.06.02.134

<http://ucom.ru/doc/na.2016.06.02.134.pdf>

Поступила (Received): 30.06.2016

Нейман Л.А.
Анализ процесса взаимодействия импульсов
сил в электромагнитной ударной системе
с потерями кинетической энергии

Neyman L.A.
Analysis of power pulses interact with the loss of
kinetic energy in the electromagnetic shock system

При передаче энергии ударом в деформируемую среду рассмотрен вопрос учета процесса взаимодействия импульсов сил в задачах моделирования электромагнитных ударных систем. Процесс характеризуется потерями кинетической энергии при ударе и отскоком бойка от рабочего инструмента, который зависит от параметров ударной системы. Получены зависимости, отражающие относительную величину кинетической энергии переданной в виде полезной работы и относительной скорости при отскоке к максимальной скорости бойка при ударе

Ключевые слова: электромагнитная ударная система, потери кинетической энергии

Нейман Людмила Андреевна

Кандидат технических наук, доцент
Новосибирский государственный технический университет
г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20

If the impact energy transfer to the deformable medium considered the account of the interaction of pulse power for modeling electromagnetic shock systems. The process is characterized by the loss of kinetic energy upon impact and rebound from the striker working tool and depend on the parameters of the shock system. The dependencies, reflecting the relative magnitude of the kinetic energy transmitted in the form of useful work and the relative velocity of the rebound to the maximum speed of the striker during impact

Key words: electromagnetic shock system, the loss of kinetic energy

Neyman Lyudmila Andreevna

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Novosibirsk state technical university
Novosibirsk, Karl Marx ave., 20

В различных областях техники используются низкочастотные механизмы и устройства ударного действия, использующих в качестве электропривода электромагнитный двигатель возвратно-поступательного действия [1-6].

Ударный режим работы возникает в результате возвратно-поступательного движения ударной массы бойка, периодически взаимодействующей с магнитным полем катушки и рабочим инструментом, который является промежуточным звеном при передаче энергии в деформируемую среду [7-13].

Достоинством такого электропривода является относительно высокая его надежность, высокий ресурс работы и простой способ управления энергией и частотой ударов [14-17].

Расширение области использования электромагнитного ударного привода непосредственно связано с основами его рационального конструирования, а также с совершенствованием методик по его расчету и проектированию в различных режимах работы [18-22].

В особенности большие сложности возникают при расчетах динамических режимов зависящих от времени, скорости, инерции подвижных масс, и т.д. [23-30].

При возбуждении периодических импульсов сил движение ударной массы бойка в существенной мере зависит от всякого рода внешних воздействий, таких как изменение коэффициента отскока и коэффициента восстановления бойка, которые определяют эффективность передачи энергии в деформируемую среду. В этой связи важным моментом в задачах моделирования ударных систем является решение вопросов, связанных с взаимодействием импульсов сил при частично упругом ударе.

Необходимо понимать, что при частично упругом ударе не вся кинетическая энергия бойка переходит рабочему инструменту и далее в обрабатываемую среду. Часть этой энергии возвращается обратно в колебательную систему в период холостого хода бойка и частично расходуется на деформацию и нагревание тел при ударе, что сопровождается потерей кинетической энергии. Количество энергии, переданной в обрабатываемую среду, и энергии, возвращенной обратно в механическую систему, зависит от свойств деформируемой среды, параметров ударной системы и импульсов сил, воздействующих на среду.

Процесс взаимодействия рабочего инструмента с деформируемой средой в реальных конструкциях ударных систем достаточно сложен и многообразен. При составлении модели предполагалось, что сопротивление среды, оказываемое перемещению инструмента, зависит от жесткости и демпфирующих свойств введенных упругих связей, а эффективность передачи энергии в эту среду определяется только параметрами элементов ударной системы. Расчетная схема электромагнитной ударной системы представлена на рис. 1. Ударная масса бойка 1 совершает возвратно-поступательное движение при взаимодействии с периодическим магнитным полем катушки 2 и наносит удары по рабочему инструменту 3, который передает свою энергию в деформируемую среду 4.

Рис. 1. Схема электромагнитной ударной системы

Разделяя процесс при прямом центральном ударе двух тел на две стадии в момент и после удара можно получить скорости центра масс бойка и рабочего инструмента после частично упругого удара:

$$\begin{cases} \bar{v}_1 = \bar{v} + k_{\hat{a}} (\bar{v} - \bar{v}_1), \\ \bar{v}_2 = \bar{v} + k_{\hat{a}} (\bar{v} - \bar{v}_2), \end{cases} \quad (1)$$

где v_1, v_2 – скорости центра масс бойка и рабочего инструмента до удара; $\bar{v}_1, \bar{v}_2$ – скорости центра масс бойка и рабочего инструмента по окончании удара; $\bar{v}$ – скорость центра масс абсолютно неупругого удара; $k_{\hat{a}}$ – коэффициент восстановления скорости.

Скорость центра масс в абсолютно неупругом ударе получим на основании закона сохранения импульса

$$\bar{v} = \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2}. \quad (2)$$

Полагая, что в колебательной системе на момент удара скорость рабочего инструмента $v_2 \approx 0$, то скорость центра масс тел после окончания удара, принимая во внимание (1) и (2),

$$\begin{cases} \bar{v}_1 = v_1 \frac{m_2}{m_1 + m_2} \left(\frac{m_1}{m_2} - k_{\hat{a}} \right), \\ \bar{v}_2 = v_1 \frac{m_1}{m_1 + m_2} (1 + k_{\hat{a}}) \end{cases}.$$

Направление движения бойка при ударе изменяется на противоположное. Следовательно, скорость бойка при отскоке от рабочего инструмента $\bar{v}_1 \leq 0$.

Коэффициент отскока бойка, зависящий от параметров ударной системы, учитывая знак скорости

$$k_{\hat{1}\hat{0}} = \frac{-\bar{v}_1}{v_1} = \frac{m_2}{m_1 + m_2} \left(k_{\hat{a}} - \frac{m_1}{m_2} \right).$$

Влияние параметров ударной системы с потерями кинетической энергии на деформацию в виде зависимости $k_{\hat{1}\hat{0}} = f\left(\frac{m_1}{m_2}, k_{\hat{a}}\right)$ рассмотрено на диаграмме, приведенной на рис. 2, отражающей относительную величину скорости бойка после удара (скорости отскока) по отношению к скорости бойка перед ударом.

Кинетическая энергия, возвращаемая в механическую систему при отскоке бойка

$$T_1 = \frac{m_1 \bar{v}_1^2}{2} = \frac{m_1 v_1^2}{2} \left[\frac{m_2}{m_1 + m_2} \left(k_{\hat{a}} - \frac{m_1}{m_2} \right) \right]^2.$$

Полезная работа, совершаемая электромагнитным двигателем, имеет импульсный характер и при фиксированном коэффициенте восстановления может быть оценена кинетической энергией бойка, переходящей рабочему инструменту при ударе

$$T_2 = \frac{m_2 \bar{v}_2^2}{2} = \frac{m_2 v_1^2}{2} \left[\frac{m_1}{m_1 + m_2} (1 + k_{\hat{a}}) \right]^2.$$

Рис. 2. Зависимость коэффициента

отскока $k_{\dot{\alpha}} = f\left(\frac{m_1}{m_2}, k_{\hat{a}}\right)$

Рис. 4. Зависимость коэффициента

эффективности $k_{\dot{\alpha}} = f\left(\frac{m_1}{m_2}, k_{\hat{a}}\right)$

Потери кинетической энергии при ударе составят

$$\Delta T = T - T_1 - T_2 = \frac{m_1 v_1^2}{2} \left[1 - k_{\dot{\alpha}}^2 - \frac{m_1 m_2}{(m_1 + m_2)^2} (1 + k_{\hat{a}})^2 \right],$$

где $T = \frac{m_1 v_1^2}{2}$ - кинетическая энергия бойка перед ударом.

Коэффициент эффективности передачи энергии ударом при учете потерь кинетической энергии на деформацию тел

$$k_{\dot{\alpha}} = \frac{\dot{\alpha} - \dot{\alpha}_1}{\dot{\alpha}} = 1 - \left[\frac{m_2}{m_1 + m_2} \left(k_{\hat{a}} - \frac{m_1}{m_2} \right) \right]^2.$$

Зависимость $k_{\dot{\alpha}} = f\left(\frac{m_1}{m_2}, k_{\hat{a}}\right)$, отражающая относительную величину энергии, переданной в деформируемую среду по отношению к полной кинетической энергии бойка за время рабочего цикла, приведена на диаграмме рис. 2.

Список используемых источников:

1. Мошкин В.И., Нейман В.Ю., Угаров Г.Г. Импульсные линейные электромагнитные двигатели. Курган: Изд-во Курганского гос. ун-та, 2010. 220 с.
2. Угаров Г.Г., Нейман В.Ю. Анализ показателей электромагнитных ударных машин // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 1996. № 2. С. 72–80.
3. Нейман Л.А., Нейман В.Ю. Низкочастотные ударные электромагнитные машины и технологии // Актуальные проблемы в машиностроении. 2014. №1. С. 256–259.
4. Нейман Л.А., Нейман В.Ю. Исследование двухкатушечной синхронной электромагнитной машины с инерционным реверсом бойка // Современные проблемы теории машин. 2014. № 2. С. 109–110.
5. Нейман Л.А. Синхронный электромагнитный механизм для виброударного технологического оборудования // Справочник. Инженерный журнал с приложением. 2014. № 6 (207). С. 17–19.
6. Нейман Л.А., Нейман В.Ю. Линейные синхронные электромагнитные машины для низкочастотных ударных технологий // Электротехника. 2014. № 12. С. 45–49.
7. Нейман В.Ю. К вопросу о рационализации рабочих процессов и выбора конструктивных схем электромагнитных ударных машин // Автоматизированные электромеханические системы: Коллективная монография. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2004. С. 155–169.

8. Нейман В.Ю., Евреинов Д.М., Нейман Л.А., Скотников А.А., Смирнова Ю.Б. Способы повышения энергетических показателей однообмоточных импульсных устройств с электромагнитным возбуждением // *Транспорт: наука, техника, управление*. 2010. № 8. С. 29–31.
9. Аксютин В.А., Нейман Л.А., Нейман В.Ю., Скотников А.А. Прессовое оборудование с линейным электромагнитным приводом для механизации технологических процессов ударной сборки и штамповки мелких изделий // *Актуальные проблемы в машиностроении*. 2015. №2. С. 220–224.
10. Нейман Л.А., Нейман В.Ю. Рабочий цикл двухкатушечной синхронной электромагнитной машины со свободным выбегом бойка // *Известия вузов. Электромеханика*. 2013. № 6. С. 48–52.
11. Нейман В.Ю. Интегрированные линейные электромагнитные двигатели для импульсных технологий // *Электротехника*. 2003. № 9. С. 25–30.
12. Нейман В.Ю. Анализ процессов энергопреобразования линейных электромагнитных машин с предварительным аккумулярованием магнитной энергии в динамических режимах // *Электротехника*. 2003. № 2. С. 30–36.
13. 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.
14. Нейман В.Ю. Режимы форсированного аккумулярования магнитной энергии в импульсных линейных электромагнитных двигателях // *Научный вестник Новосибирского государственного технического университета*. 2003. № 1. С. 105–112.
15. Нейман В.Ю. Петрова А.А. Сравнение способов форсировки импульсных линейных электромагнитных двигателей // *Электротехника*. 2007. № 9. С. 47–50.
16. Нейман В.Ю., Нейман Л.А., Петрова А.А. Сравнение геометрически подобных систем электромагнитов по условию постоянства теплового критерия // *Электротехника*. 2011. № 12. С. 14а–16.
17. 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.
18. 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*. 2008. № 6. С. 21–24.
19. 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.
20. 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.
21. Нейман В.Ю., Нейман Л.А. Оценка конструктивного совершенства систем принудительного охлаждения синхронных электромагнитных машин ударного действия // *Журнал Сибирского Федерального университета*. 2015. Т.8. № 2. С. 166–175.
22. Нейман В.Ю., Нейман Л.А., Петрова А.А. Влияние соотношений главных размеров электромагнитов на значения конструктивного фактора и показателя экономичности // *Автоматизированные электромеханические системы*. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2011. С. 177–187.
23. Нейман Л.А., Нейман В.Ю. Математическая модель электромеханической системы колебательного движения с упругими связями // *Вестник Ивановского государственного энергетического университета*. 2015. № 6. С. 35–40.
24. 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.
25. Нейман Л.А., Нейман В.Ю. Динамическая модель электромагнитного привода колебательного движения для систем генерирования низкочастотных вибраций // *Доклады Академии наук высшей школы Российской Федерации*. 2015. № 3(28). С. 75–87.
26. 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.
27. Нейман Л.А., Скотников А.А., Нейман В.Ю. Исследование нагрева электромагнитного двигателя в переходных режимах // *Известия вузов. Электромеханика*. 2012. № 6. С. 50–54.
28. Нейман Л.А. Оценка перегрузочной способности ударного электромагнитного привода по средней температуре перегрева в переходных режимах // *Известия вузов. Электромеханика*. 2013. № 6. С. 58–61.

29. Нейман Л.А., Нейман В.Ю. Моделирование процессов в электромагнитном вибрационном преобразователе с потерями энергии в магнитопроводе // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. 2016. Т. 19. № 1. С. 73–78.

30. Малинин Л.И., Нейман В.Ю. Определение напряжения преобразования энергии и электромагнитных сил в электромеханических системах // Электричество. 2008. № 6. С. 57–62.

© 2016, Нейман Л.А.

Анализ процесса взаимодействия импульсов сил в электромагнитной ударной системе с потерями кинетической энергии

© 2016, Neyman L.A.

Analysis of power pulses interact with the loss of kinetic energy in the electromagnetic shock system