

nogo agrarnogo universiteta. – 2018. – No. 4. – S. 135-141.

3. Syrbakov A.P., Korchuganova M.A. Eksploatatsiya avtotraktornoy tekhniki v usloviyakh otritsatelnykh temperatur. – Tomsk: Izd-vo TPU, 2012. – 205 с.

4. Syrbakov A.P., Korchuganova M.A. Issledovanie sposobov predpuskovogo razogreva traktornykh dvigateley benzinovymi gorelkami // Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. – 2015. – No. 1. – S. 115-118.

5. Fedyunin P.I., Matyash S.P. Pat. 63456 RF. Ustroystvo regulirovaniya tsirkulyatsii zhidkosti sistemy okhlazhdeniya avtotraktornykh dizelnykh dvigate-

ley: patent na poleznuyu model No. 63456 Rossiyskaya Federatsiya; opubl. 27.05.2007. Byul. No. 15.

6. Hoglund P.G., Ydstedt A. Reduced air pollution and fuel consumption with preheated car engines // 4th International Conference on Urban Transport and the Environment for the 21st Century: Lisbon, Portugal, 1998. – Part 4. – P. 369-376.

7. Kartashevich A.N. Improvement of starting qualities of autotractor diesel engines in winter operation / A.N. Kartashevich, A.V. Gordeenko, V.S. Brantsevich // Traktorio ir automobiliu bei ju agregatu darbo procesu tyrimai. Mokslo darbai – Kaunas, 1997. – P. 60-67.



УДК 621.313.3

К.М. Усанов, В.А. Каргин, А.В. Волгин, А.П. Моисеев
K.M. Usanov, V.A. Kargin, A.V. Volgin, A.P. Moiseyev

ОСОБЕННОСТИ ЭНЕРГОПРЕОБРАЗОВАНИЯ В ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ УДАРНЫХ МАШИНАХ

FEATURES OF ENERGY CONVERSION IN ELECTROMAGNETIC STRIKING MACHINES

Ключевые слова: ударная машина, линейный электромагнитный двигатель, энергия удара, ударная мощность, аккумулялирование магнитной энергии.

Применение линейных электромагнитных двигателей в машинах ударного действия для забивания в грунт металлических стержней позволяет избежать многоступенчатости и обеспечить в каждом рабочем цикле непосредственное преобразование питающего импульса электрической энергии источника в механическую энергию движения массы якоря с линейной траекторией, повысить удельные показатели всего привода. С целью увеличения механической энергии, ударной мощности и КПД, для машин с непрерывными последовательными срабатываниями якоря, представляется необходимым обеспечить рекуперацию и использование энергии холостого хода в последующем энергопреобразовательном цикле. Экспериментально установлено, что в рациональном цикле

обеспечивается существенное увеличение потокосцепления и запаса магнитной энергии в системе к началу рабочего хода за счет соответствующего выбора момента подачи импульса тока в обмотку. Это повышает скорость и уменьшает продолжительность последующих рабочих ходов якоря, благодаря чему возрастают энергия удара и механическая работа машины при неизменной мощности источника питания. Отмеченное преобразование механической и электрической энергии в магнитную в режиме динамического накопителя магнитной энергии происходит без использования специальных средств регулирования и является наиболее эффективным. Предлагаемый способ управления двигателем переносной машины, реализующий предварительное накопление магнитной энергии в период холостого хода якоря с последующим ее использованием в период рабочего хода, обеспечивает одновременное повышение в 1,24 раза энергии удара, в 1,5 раза ударной мощности и

в 1,2 раза КПД. Таким образом, эффективность предлагаемого рабочего цикла, при котором в рабочем ходе реализуется дополнительно накопленная на этапе возврата якоря пружиной магнитная энергия, выше, чем у цикла, где аккумуляция магнитной энергии на интервале холостого хода отсутствует.

Keywords: *striking machine, linear electromagnetic motor, strike energy, striking power, magnetic energy accumulation.*

The use of linear electromagnetic motors in striking machines for driving metal rods into the ground allows avoiding multistage operation and ensures in each working cycle the direct conversion of the supply pulse of the electric energy of the source into the mechanical energy of the armature mass with a linear path, and increases the specific performance of the entire drive. In order to increase mechanical energy, striking power, and efficiency, for machines with continuous successive triggering of the armature, it seems necessary to ensure the recovery and use of idling energy in the subsequent energy conversion cycle. It was experimentally found

that in a rational cycle a significant increase in flux linkage and the magnetic energy reserve in the system are provided at the beginning of the working stroke due to the appropriate choice of the moment of supply of the current pulse to the winding. This increases the speed and reduces the duration of subsequent working strokes of the armature which increases the strike energy and mechanical operation of the machine with a constant power source. The mentioned conversion of mechanical and electrical energy into magnetic energy in the mode of dynamic magnetic energy accumulation occurs without the use of special regulation tools and is the most effective. The proposed method of controlling the engine of a portable machine which implements a preliminary accumulation of magnetic energy during the idle period of the armature with its subsequent use during the working stroke provides a simultaneous increase of strike energy 1.24 times, of striking power - 1.5 times, and efficiency - 1.2 times. Thus, the effectiveness of the proposed working cycle in which the magnetic energy is additionally accumulated during the step of returning the armature by the spring is higher during the working course than in the cycle where there is no accumulation of magnetic energy in the idle interval.

Усанов Константин Михайлович, д.т.н., проф. каф. «Инженерная физика, электрооборудование и электротехнологии», Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова. Тел.: (8452) 74-96-51. E-mail: primenienie@mail.ru.

Каргин Виталий Александрович, к.т.н., доцент каф. «Инженерная физика, электрооборудование и электротехнологии», Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова. Тел.: (8452) 74-96-51. E-mail: vakargin@mail.ru.

Волгин Андрей Валерьевич, к.т.н., доцент каф. «Инженерная физика, электрооборудование и электротехнологии», Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова. Тел.: (8452) 74-96-51. E-mail: saratov-79@list.ru.

Моисеев Алексей Петрович, к.т.н., доцент каф. «Инженерная физика, электрооборудование и электротехнологии», Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова. Тел.: (8452) 74-96-51. E-mail: primenienie@mail.ru.

Usanov Konstantin Mikhaylovich, Dr. Tech. Sci., Prof., Chair of Engineering Physics, Electrical Equipment and Electrical Engineering, Saratov State Agricultural University named after N.I. Vavilov. Ph.: (8452) 74-96-51. E-mail: primenienie@mail.ru.

Kargin Vitaliy Aleksandrovich, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Chair of Engineering Physics, Electrical Equipment and Electrical Engineering, Saratov State Agricultural University named after N.I. Vavilov. Ph.: (8452) 74-96-51. E-mail: vakargin@mail.ru.

Volgin Andrey Valeryevich, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Chair of Engineering Physics, Electrical Equipment and Technologies, Saratov State Agricultural University named after N.I. Vavilov. Ph.: (8452) 74-96-51. E-mail: saratov-79@list.ru.

Moiseyev Aleksey Petrovich, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Chair of Engineering Physics, Electrical Equipment and Electrical Engineering, Saratov State Agricultural University named after N.I. Vavilov. Ph.: (8452) 74-96-51. E-mail: primenienie@mail.ru.

Введение

Современная ситуация и наметившийся экономический подъем в нашей стране выдвигают перед инженерами-разработчиками актуальную задачу создания конкурентоспособной техники для прогрессивных технологий на объектах АПК [1-4].

Применение линейных электромагнитных двигателей (ЛЭМД) в приводе импульсных машин с дискретным возвратно-поступательным движением рабочего органа на объектах АПК представляется вполне эффективным. Например, использование ЛЭМД в машинах ударного действия (УМ)

для забивания в грунт металлических стержней [1] позволяет избежать многоступенчатости и обеспечить в каждом рабочем цикле непосредственное преобразование питающего импульса электрической энергии $W_{эл}$ источника в механическую энергию A_y движения массы m_b якоря с линейной траекторией, повысить удельные показатели всего привода.

С целью увеличения механической энергии, ударной мощности и КПД, для машин с непрерывными последовательными срабатываниями якоря, представляется необходимым обеспечить рекуперацию и использование энергии холостого

хода в последующем энергопреобразовательном цикле [2, 5-7].

Объект и методика исследований

На рисунке 1 показана функциональная схема электромагнитной системы, с помощью которой осуществлено формирование рабочего цикла с режимом аккумулирования магнитной энергии на этапе возврата якоря пружиной.

На рисунке 2 приведены динамические характеристики рабочих циклов импульсной машины, реализующей процесс накопления магнитной энергии на этапе холостого хода с последующим ее преобразованием в механическую энергию на этапе рабочего хода при питании обмотки от источника постоянного тока. Работа двигателя осуществлялась в автоколебательном режиме. Начало и окончание импульса тока в обмотке формировались датчиками ВП и НП (рис. 1), фиксирующими положение бойка, соответственно, в период рабочего и холостого хода.

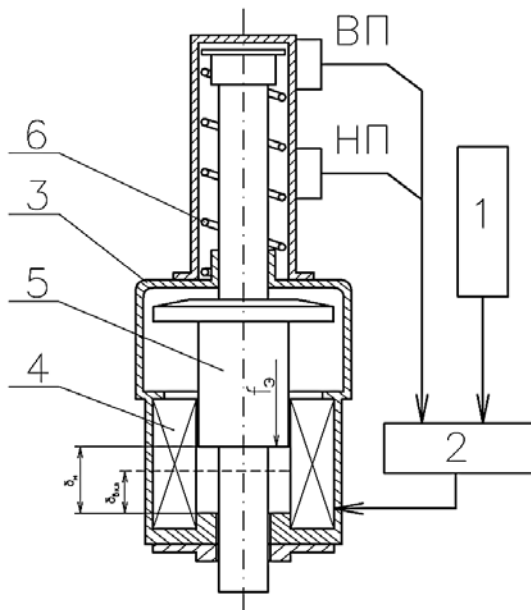


Рис. 1. Функциональная схема системы:
 1 – источник питания; 2 – блок формирования питающих импульсов напряжения с датчиками верхнего ВП и нижнего НП положения якоря (бойка); 3 – однообмоточный электромагнитный двигатель; 4 – обмотка; 5 – якорь; 6 – возвратная пружина

При включении источника питания по сигналу датчика ВП в обмотке двигателя под действием приложенного напряжения $u=u(t)$ появляется ток $i=i(t)$, обуславливающий возникновение в рабочем зазоре δ_n электромагнитной силы f_3 . На интервале времени t_1 под действием сил возвратной пружи-

ны и трения в механической системе двигателя сохраняется равновесие, и якорь остается неподвижным. С нарастанием тока в обмотке до значения i_1 якорь, преодолевая противодействие сил трения и упругости возвратной пружины, начинает движение, втягиваясь в обмотку за время t_{cp} , после чего по сигналу датчика НП питание отключается.

Результаты

Этап энергопреобразования первого рабочего цикла характеризуется потреблением электрической энергии источника с одновременным преобразованием ее в тепловую и магнитную энергии, часть которой запасается в магнитной системе двигателя, а часть расходуется на полезную механическую работу и работу против упругих сил пружины.

По завершении этих процессов якорь, под действием упругих сил сжатой пружины, совершает холостой ход в направлении, противоположном f_3 .

При возврате якоря в момент времени t_2 , соответствующий воздушному рабочему зазору $\delta_{вкл}$ (рис. 1, 2б), который может отличаться от начального $\delta_{вкл} < \delta_n$, на обмотку двигателя с блока формирования питающих импульсов 2 (рис. 1) поступает импульс напряжения, вызывающий ток и электромагнитную силу в рабочем воздушном зазоре (рис. 2б).

Якорь, обладая некоторым запасом кинетической энергии, приобретенной на первом этапе энергопреобразования за счет потенциальной энергии сжатой пружины, движется в этот момент в направлении, противоположном действию электромагнитной силы, которая в течение t_2 (рис. 2б) будет еще недостаточной для остановки якоря и изменения его скорости. Поэтому на интервале времени t_2 движение якоря с отрицательной скоростью, увеличивающей рабочий зазор, продолжится, при этом потенциальная энергия пружины, запасенная во время рабочего хода якоря в предыдущем цикле, преобразуется в энергию магнитного поля и аккумулируется магнитной системой для использования в последующем цикле энергопреобразования.

Качественная оценка режима энергопреобразования, отражающего изменение потокосцепления и магнитной энергии системы в интервале времени t_{cp2} (рис. 2) в функции координаты перемещения якоря, представлена на диаграммах рисунка 3.

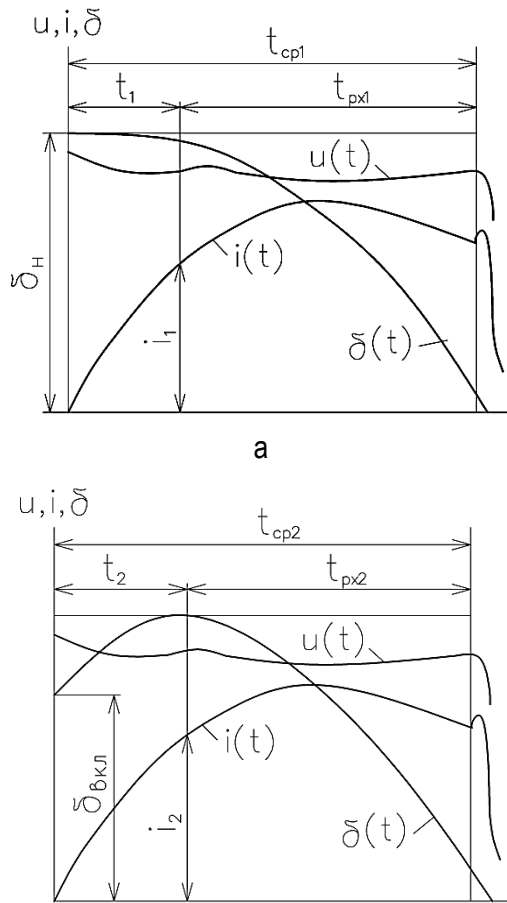


Рис. 2. Динамические характеристики рабочих циклов: без накопления (а), с накоплением магнитной энергии и период холостого хода (б)

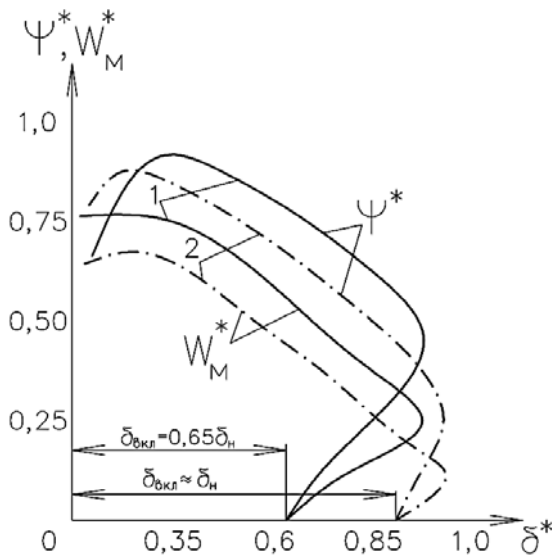


Рис. 3. Диаграммы изменения $\Psi=f(\delta)$ и $W_M=f(\delta)$: 1 – при рациональном включении; 2 – при включении, близком к δ_n .

Сопоставление первого и последующих рабочих ходов (рис. 2) показывает, что первый ход характеризуется большей продолжительностью движения $t_{px1} > t_{px2}$ и меньшим током трогания якоря $i_1 < i_2$, не меньшим амплитудным и средним за время движения якоря значениям тока в обмотке.

Анализ полученных экспериментальных зависимостей (рис. 2, 3) позволяет утверждать, что процесс накопления магнитной энергии на этапе возврата якоря пружиной интенсифицируется благодаря одновременному увеличению тока, потокосцепления и рабочего зазора.

При одинаковых параметрах питающего обмотку импульса напряжения $u(t)$ доля дополнительно аккумулированной магнитной энергии в машине определяется начальным значением тока i_2 в конце периода холостого хода, зависит от продолжительности t_2 (рис. 2б) интервала движения якоря против действия разворачивающегося в рабочем зазоре магнитного поля и возрастает с их увеличением.

Сравнение рабочих циклов (рис. 3) показывает, что в рациональном цикле обеспечивается существенное увеличение потокосцепления и запаса магнитной энергии в системе к началу рабочего хода за счет соответствующего выбора момента подачи импульса тока в обмотку. Это повышает скорость и уменьшает продолжительность последующих рабочих ходов якоря, благодаря чему возрастает энергия удара и механическая работа машины при неизменной мощности источника питания. Отмеченное преобразование механической и электрической энергии в магнитную в режиме динамического накопителя магнитной энергии происходит без использования специальных средств регулирования и является наиболее эффективным.

Экспериментально установлено [2], что предлагаемый способ управления двигателем переносной машины, реализующий предварительное накопление магнитной энергии в период холостого хода якоря с последующим ее использованием в период рабочего хода обеспечивает одновременное повышение в 1,24 раза энергии удара, в 1,5 раза ударной мощности и в 1,2 раза КПД.

Таким образом, эффективность предлагаемого рабочего цикла, при котором в рабочем ходе реализуется дополнительно накопленная на этапе возврата якоря пружиной магнитная энергия, выше, чем у цикла, где аккумуляция магнитной энергии на интервале холостого хода отсутствует.

Вывод

Для режима непрерывных срабатываний ЛЭМД выявлена возможность рекуперации энергии из механической системы и аккумулирования ее в магнитной системе двигателя на холостом ходе якоря, позволяющая в смежном рабочем ходе увеличить механическую энергию, ударную мощность и КПД, в среднем, в 1,3 раза и представляющаяся эффективным средством повышения показателей импульсных электромагнитных машин для АПК.

Библиографический список

1. Каргин, В. А. Совершенствование технологии погружения продольно-неустойчивых стержневых элементов на объектах АПК использованием переносного импульсного электромагнитного привода: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Каргин В. А. – Саратов: ФГОУ ВПО Саратовский ГАУ им. Н.И. Вавилова, 2007. – 21 с. – Текст: непосредственный.
2. Мошкин, В. И. Импульсные линейные электромагнитные двигатели: монография / В.И. Мошкин, В. Ю. Нейман, Г. Г. Угаров. – Курган: Изд-во Курганского гос. ун-та, 2010. – 220 с. – Текст: непосредственный.
3. Усанов, К. М. Импульсный электромагнитный привод машин с однонаправленным поступательным движением рабочего органа / К. М. Усанов, А. П. Моисеев, В. А. Каргин. – Текст: непосредственный // *Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 80-летию со дня рождения профессора Кобы В.Г.* – Саратов, 2011. – С. 239-241.
4. Усанов, К. М. Линейные электромагнитные двигатели и приводы в импульсных процессах и технологиях: монография / К. М. Усанов, В. И. Мошкин, В. А. Каргин, А. В. Волгин. – Курган: Изд-во Курганского гос. ун-та, 2015. – 202 с. – Текст: непосредственный.
5. Каргин, В. А. Система управления электромагнитной ударной машиной [Текст] / В. А. Каргин. – Текст: непосредственный // *Образовательная среда сегодня и завтра: материалы X Международной научно-практической конференции.* – 2015. – С. 303-306.
6. Моисеев, А. П. Влияние режимных и конструктивных факторов на выходные показатели импульсного электромагнитного привода / А. П. Моисеев, А. В. Волгин, В. А. Каргин. – Текст: непосредственный // *Наука в информационном*

пространстве: материалы VII Международной научно-практической конференции. – 2011. – Т. 1. – Д.: Изд-во Биля К.О. – С. 46-49.

7. Usanov, K., Volgin, A., Chetverikov, E., Kargin, V., Moiseev, A., Ivanova, Z. (2017). Power electromagnetic strike machine for engineering-geological surveys. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 87. 032049. 10.1088/1755-1315/87/3/032049.

References

1. Kargin, V.A. Sovershenstvovanie tekhnologii pogruzheniya prodolno-neustoychivyykh sterzhnevyykh elementov na obektakh APK ispolzovaniem perenosnogo impulsnogo elektromagnitnogo privoda [Tekst] / V.A. Kargin: avtoref. ... dis. k-ta tekhn. nauk. – Saratov: FGOU VPO Saratovskiy GAU im. N.I. Vavilova, 2007. – 21 s.
2. Moshkin, V.I. Impulsnye lineynye elektromagnitnye dvigateli: monografiya [Tekst] / V.I. Moshkin, V.Yu. Neyman, G.G. Ugarov. – Kurgan: Izd-vo Kurganskogo gos. un-ta, 2010. – 220 s.
3. Usanov, K.M. Impulsnyy elektromagnitnyy privod mashin s odonapravlenным postupatelным dvizheniem rabocheho organa / K.M. Usanov, A.P. Moiseev, V.A. Kargin // *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 80-letiyu so dnya rozhdeniya professora Koby V.G.* – Saratov, 2011. – S. 239-241.
4. Usanov, K.M. Lineynye elektromagnitnye dvigateli i privody v impulsnykh protsessakh i tekhnologiyakh: monografiya [Tekst] / K.M. Usanov, V.I. Moshkin, V.A. Kargin, A.V. Volgin. – Kurgan: Izd-vo Kurganskogo gos. un-ta, 2015. – 202 s.
5. Kargin, V.A. Sistema upravleniya elektromagnitnoy udarnoy mashinoy [Tekst] / V.A. Kargin // *Obrazovatel'naya sreda segodnya i zavtra: materialy X Mezhdunar. nauchno-praktich. konf.*, 2015. – S. 303-306
6. Moiseev, A.P. Vliyaniye rezhimnykh i konstruktivnykh faktorov na vykhodnye pokazateli impulsnogo elektromagnitnogo privoda / A.P. Moiseev, A.V. Volgin, V.A. Kargin // *Nauka v informatsionnom prostranstve: materialy VII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii.*, 2011, T. 1. – D.: Izd-vo Biya K.O. – S. 46-49.
7. Usanov, K., Volgin, A., Chetverikov, E., Kargin, V., Moiseev, A., Ivanova, Z. (2017). Power electromagnetic strike machine for engineering-geological surveys. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 87. 032049. 10.1088/1755-1315/87/3/032049.