



УДК 621.313.3

В.А. Каргин  
V.A. Kargin**СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ПРЕССОМ  
ДЛЯ ОТЖИМА СОКА****CONTROL SYSTEM  
OF ELECTROMAGNETIC JUICE PRESS**

**Ключевые слова:** электромагнитный пресс, шаговый линейный электромагнитный двигатель, самонастраивающаяся система управления, программируемые логические контроллеры.

Одним из условий решения проблем обеспечения качественной сельскохозяйственной продукцией является внедрение новых и совершенствование имеющихся технических средств. В частности, применяющиеся в настоящее время в небольших цехах по переработке плодово-овощной продукции технологическое оборудование зачастую не отвечает современным требованиям или предназначено для крупных сельхозпредприятий. Например, для отжима сока используются пневматические, гидравлические устройства с линейным перемещением рабочего органа, для которых характерно многоступенчатое преобразование энергии, относительно высокая цена оборудования, высокая квалификация обслуживающего персонала. Перспективным направлением в разработке машин для переработки плодов на сок является использование импульсного силового электрического привода, имеющего в основе шаговый линейный электромагнитный двигатель. Одним из основных выходных показателей электромагнитного пресса для отжима сока является тяговое усилие шагового линейного электромагнитного двигателя, которое по мере перемещения штанги с поршнем и сжатия мезги не остается неизменным. На практике обычно величину питающего напряжения выбирают так, чтобы обеспечить верхний предел диапазона тягового усилия для гарантированного завершения технологического процесса отжима сока. Однако избыток электрической и механической энергии на начальном этапе технологического процесса приводит к перегреву обмотки, сокращает механический ресурс подвижных частей шагового линейного электромагнитного двигателя. Линейные электромагнитные двигатели, осуществляющие дискретное потребление и преобразование электрической энергии в механическую работу, для источника питания представляют собой нагрузку импульсного характера. При этом необходимые для работы двигателя униполярные импульсы напряжения и тока не могут быть получены при непосредственном подключении обмотки к зажимам источника и формируются специальным устройством питания и управления электрическим преобразователем. В работе предложен подход к

реализации автоматической коррекции выходного тягового усилия шагового линейного электромагнитного двигателя в составе электромеханической дискретной системы в процессе сжатия мезги для получения сока.

**Keywords:** electromagnetic press, stepper linear electromagnet motor, self-adjusting control system, programmable logic controllers.

One of the conditions for solving the problems of providing high-quality agricultural products is the introduction of new and improvement of existing technical means. In particular, the technological equipment currently used in small fruit and vegetable processing shops often does not meet modern requirements or is intended for large agricultural enterprises. For example, to squeeze juice, pneumatic, hydraulic devices with linear movement of the working body are used; they are characterized by multi-stage energy conversion, relatively high price of equipment, and high qualification of the staff. A promising direction in the development of fruit juice processing machines is the use of a pulsed power electric drive which is based on a stepped linear electromagnetic motor. One of the main output indicators of the electromagnetic press for squeezing juice is the pulling force of the stepping linear electromagnetic motor which does not remain unchanged as the rod moves with the piston and the compression of the pulp. In practice, typically, the amount of the supply voltage is selected so as to provide an upper limit of the range of tractive effort to ensure the completion of the juice extraction process. However, the excess of electrical and mechanical energy at the initial stage of the process leads to overheating of the winding, and reduces the mechanical life of the moving parts of the stepping linear electromagnetic motor. Linear electromagnetic motors carrying out discrete consumption and conversion of electrical energy into mechanical work, for a power source are pulsed loads. At the same time, the unipolar voltage and current pulses necessary for the operation of the motor cannot be obtained by directly connecting the winding to the source terminals and are formed by a special power supply and control device by an electric converter. This paper proposes an approach to the implementation of the automatic correction of the output traction effort of a stepping linear electromagnetic motor as part of an electromechanical discrete system in the process of compressing the pulp to obtain juice.

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

### Введение

Перспективным направлением в разработке машин для переработки плодов на сок является использование импульсного силового электрического привода, имеющего в основе двигатель с линейной траекторией движения рабочего органа [1-3]. При этом применение шагового линейного электромагнитного двигателя (ЛЭМД) является предпочтительным за счет простоты конструкции, малых габаритов, надежности в работе, определяемой отсутствием обмоток возбуждения, относительно высоких удельных показателей [4-6].

Одним из основных выходных показателей электромагнитного пресса для отжима сока является тяговое усилие  $F_T$  ЛЭМД, которое по мере перемещения штанги с поршнем и сжатия мезги не остается неизменным ( $F_T^{\min} \dots F_T^{\max}$ ). На практике обычно величину питающего напряжения выбирают так, чтобы обеспечить верхний предел диапазона  $F_T$  для гарантированного завершения технологического процесса (ТП) отжима сока [1, 2].

Однако избыток электрической  $W_{эл}$  и механической энергии на начальном этапе ТП приводит к перегреву обмотки, сокращает механический ресурс подвижных частей шагового ЛЭМД. Таким образом, согласование определяющего тяговое усилие  $F_T$  мощности питающего импульса с условиями процесса отжима сока, которая по мере перемещения рабочего органа и сжатия мезги автоматически увеличивается, представляется актуальным.

Варьирование  $W_{эл}$  и, как следствие,  $F_T$  может достигаться воздействием на продолжительность энергопотребления, либо на величину поступающей в обмотку ЛЭМД мощности  $p$  изменением подводимого напряжения  $u$  при заданных свойствах обмотки. В большинстве известных электромеханических импульсных систем с ЛЭМД, питаемых от источников переменного тока, регулирование выходной энергии обеспечивается ЭП изменением длительности питающего импульса напряжения, которое выполняется ручной настройкой параметров времязадающей RC-цепи [1].

### Объект и методика исследований

Предложен подход к реализации автоматической коррекции выходного тягового усилия шагового ЛЭМД в составе электромеханической дискретной системы для получения сока [4, 5].

Сформулируем требования к системе автоматического управления (САУ) электромагнитным прессом для отжима сока:

- повышение напряжения  $\Delta U_y$  питающего ЛЭМД импульса на каждом рабочем ходе якоря пропорциональному количеству ходов за время технологического процесса;

- обеспечение дискретного перемещения якоря шагового ЛЭМД с управлением в функции времени: время цикла  $t_{\Pi}^1 = t_p^1 + t_{\Pi}^1 = 2 \text{ с}$ ,  $t_p^1 = 0,5 \text{ с}$ ,  $t_{\Pi}^1 = 1,5 \text{ с}$ , где  $t_{\Pi}^1$  – время паузы между последовательными срабатываниями;

- обеспечение пятисекундной паузы после трех срабатываний ЛЭМД для выхода сока из продукта:  $t_{\Pi}^2 = 5 \text{ с}$ ,  $t_{\Pi}^2$  – время паузы между трехходовыми циклами;

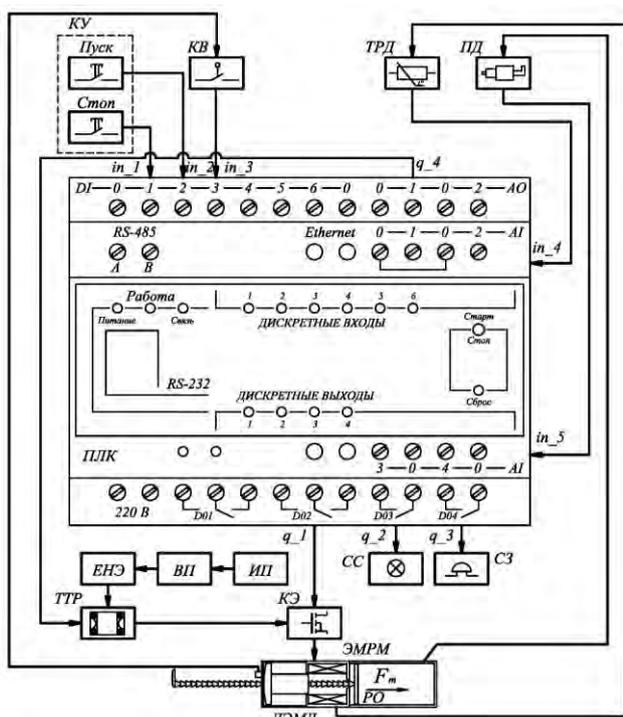
- использование настроенного параметра для изменения  $\Delta U_y$  в зависимости от вида перерабатываемого плодового сырья;

- обеспечение аварийной остановки электропривода при превышении температуры обмотки ЛЭМД и давления в отжимной камере.

Структурная схема предлагаемой системы представлена на рисунке 1.

Питание электромагнитной рабочей машины ЭМРМ (пресса) производится от источника переменного тока ИП через выпрямитель ВП. Для уменьшения влияния индуктивной нагрузки шагового ЛЭМД на сеть используется емкостный накопитель энергии ЕНЭ [1].

Формирование питающего импульса напряжения на обмотке двигателя реализовывается коммутационным элементом КЭ подачей управляющего на него с дискретного выхода программируемого логического контроллера ПЛК сигнала ( $q_1$ ). Величина напряжения регулируется твердотельным реле ТТР в соответствии со значением управляющего напряжения  $U_y$  аналогового выхода ПЛК ( $q_4$ ).



**Рис. 1. Система управления электромагнитным прессом для отжима сока:**  
 КУ – кнопки управления; ТНД – тензодатчик;  
 ТРД – термодатчик; ПД – преобразователь избыточного давления; ИП – источник питания;  
 ТТР – твердотельное реле;  
 КЭ – коммутационный элемент;  
 КВ – конечный выключатель;  
 ЭМРМ – электромагнитная рабочая машина;  
 РО – рабочий орган; ЛЭМД – линейный электромагнитный двигатель;  
 СС – сигнализация световая; СЗ – сигнализация звуковая; ПЛК – программируемый логический контроллер; ВП – выпрямитель;  
 ЕНЭ – емкостный накопитель энергии

Включение (отключение) электромагнитного привода осуществляется кнопками управления КУ (дискретные входы ПЛК *in\_1*, *in\_2*). При достижении рабочим органом предельного положения срабатывает конечный выключатель КВ (дискретный вход *in\_3*) [4, 5].

Обозначим глобальные входы и выходы контроллера и приведем их в виде таблицы 1 [7].

Программирование ПЛК осуществляется в среде CoDeSyS с помощью стандартной библиотеки функциональных блоков [7], совокупность и схема соединения которых представлены на рисунках 2-4.

При подаче на дискретный вход *in\_1* контроллера ПЛК сигнала TRUE (истина или логическая единица) от нормально разомкнутого контакта кнопки управления КУ «Push» на входе CLK R-триггера «Rtrig1» формируется сигнал TRUE при условии, что контакт «Stop» и конечный выключатель «SQ» разомкнуты (рис. 2). На выходе Q «Rtrig1» устанавливается логическая единица. Сигнал TRUE получает вход ENABLE функционального блока «Blinker1» (генератор прямоугольных импульсов) [7].

Генератор прямоугольных импульсов имеет входы: ENABLE тип данных BOOL, TIMELOW и TIMEHIGH тип данных TIME; выход OUT тип данных BOOL. «Blinker» запускается по входу ENABLE=TRUE. Длительность импульсов задается TIMEHIGH, длительность паузы – TIMELOW [1, 14].

Таблица 1

Глобальные входы и выходы программируемого логического контроллера

№ п/п	Наименование	Тип сигнала	Обозначение	Номер входа/выхода
<b>ВХОДЫ</b>				
1	Кнопка запуска привода	Дискретный	pusk	<i>in_1</i>
2	Кнопка остановки привода	Дискретный	stop	<i>in_2</i>
3	Конечный выключатель	Дискретный	SQ	<i>in_3</i>
4	Датчик температуры	Аналоговый	d_temp	<i>in_4</i>
5	Преобразователь избыточного давления	Аналоговый	d_davl	<i>in_5</i>
<b>ВЫХОДЫ</b>				
6	Управление коммутационным элементом	Дискретный	LEMD-d	<i>q_1</i>
7	Сигнализация световая	Дискретный	lamp	<i>q_2</i>
8	Сигнализация звуковая	Дискретный	zvonok	<i>q_3</i>
9	Управление твердотельным реле	Аналоговый	LEMD-a	<i>q_4</i>

Функциональный блок «Blinker1» программируется так, чтобы обеспечить время импульса TIMEHIGH 4,5 с ( $t \# 4,5 \text{ s}$ ), в течение которого на вход ENABLE блока «Blinker2» будет подаваться логическая единица, время паузы TIMELOW 5 с ( $t \# 5 \text{ s}$ ) (рис. 5). При подаче сигнала TRUE на вход ENABLE блок «Blinker2» генерирует прямоугольные импульсы типа BOOL на выходе OUT и дискретном выходе ПЛК  $q_1$  (LEMD-d) с подключенной обмоткой линейного электромагнитного двигателя. Частота ходов якоря ЛЭМД задается функциональным блоком «Blinker2», соответственно, временем работы TIMEHIGH 0,5 с ( $t \# 0,5 \text{ s}$ ) и временем паузы TIMELOW 1,5 с ( $t \# 1,5 \text{ s}$ ). Таким образом за время подачи TRUE на вход «Blinker2» (4,5 с) двигатель совершает три хода, после чего, в течение 5 с, на входе ENABLE «Blinker2» сигнал FALSE (ложь или логический ноль), ЛЭМД не работает (рис. 5) [7].

Система управления предполагает как ручное отключение привода с помощью кнопки управления КУ «Stop», так и автоматическое, либо с помощью конечного выключателя по достижению поршня предельного положения (рис. 3), либо при выработке заданного количества  $n$  срабатываний двигателя. Так, при неспособности ЛЭМД обеспечить усилие для сжатия мезги в конце хода поршня и достижения им предельного положения предусмотрено отключение двигателя после ограниченного числа его срабатываний, счет ко-

торых осуществляется функциональным блоком «СТu» (инкрементальный счетчик), входы которого CU, RESET и выход CV типа WORD (рис. 2). По каждому фронту на входе CU (переход из FALSE в TRUE) выход CV увеличивается на 1. Выход Q устанавливается в TRUE, когда счетчик достигнет значения заданного PV, что приводит к отключению электромагнитного двигателя  $q_1$  (LEMD-d).

Окончание технологического процесса оповещает световая ( $q_2$ , lamp) и звуковая ( $q_3$ , zvonok) сигнализации, которые включаются в соответствии с сигналом OUT генератора импульсов «Blinker3» (TIMELOW  $t \# 0,5 \text{ s}$ ; TIMEHIGH  $t \# 1 \text{ s}$ ). Время работы сигнализаций задается с помощью функционального блока «таймер» «tp1».

Для плавного увеличения напряжения, подаваемого через твердотельное реле ТТР на обмотку ЛЭМД на каждом рабочем ходе, предусмотрена логическая схема, представленная на рисунке 4.

При каждом срабатывании ЛЭМД ( $q_1$  LEMD-d) к текущему значению локального выхода current посредством функционального блока ADD (сложение) прибавляется

$$\Delta U_y = \frac{U_y^{\max} - U_y^{\min}}{n},$$

где  $U_y^{\max}$ ,  $U_y^{\min}$  – напряжение на аналоговом выходе ПЛК, соответственно, максимальное и минимальное;

$n$  – количество ходов ЛЭМД.

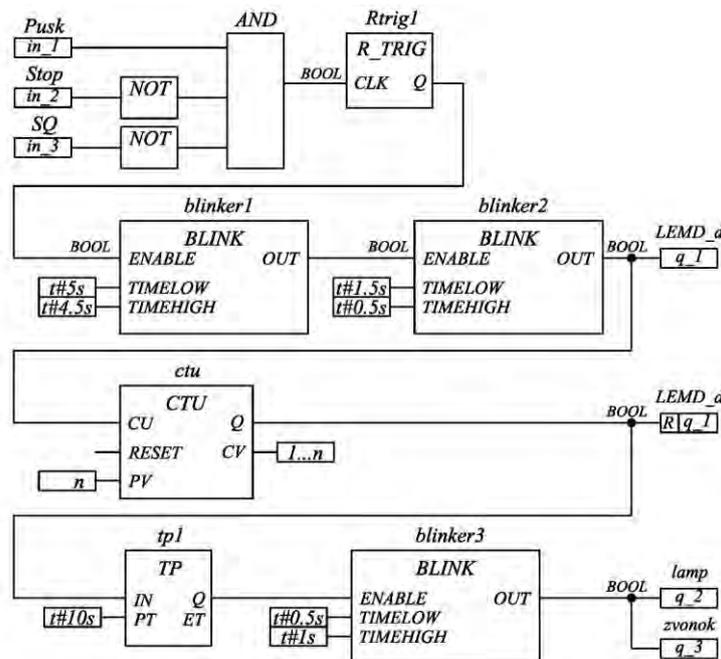


Рис. 2. Логические схемы управления дискретной электромагнитной системой

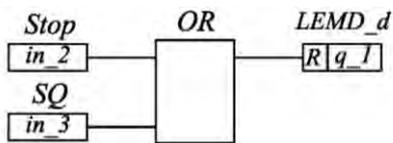


Рис. 3. Логическая схема управления остановкой электромагнитного пресса

Таким образом, значение напряжения  $U_y$  на аналоговом выходе ПЛК  $q_4$  (LEMD-a) будет зависеть от количества срабатываний (рис. 5).

$$\Delta U_y = \frac{\text{current} \cdot \frac{U_y^{\max} - U_y^{\min}}{n}}{U_y^{\min}} + U_y^{\min} = \frac{\text{current} \cdot \Delta U_y}{U_y^{\min}} + U_y^{\min}.$$

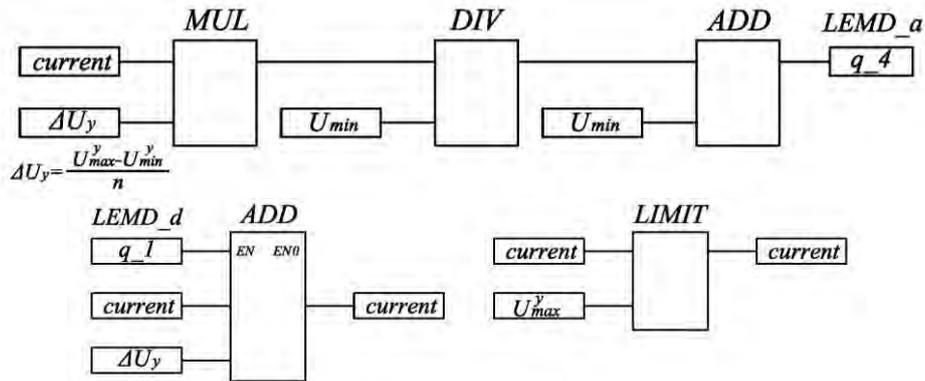


Рис. 4. Логические схемы управления аналоговым выходом ПЛК

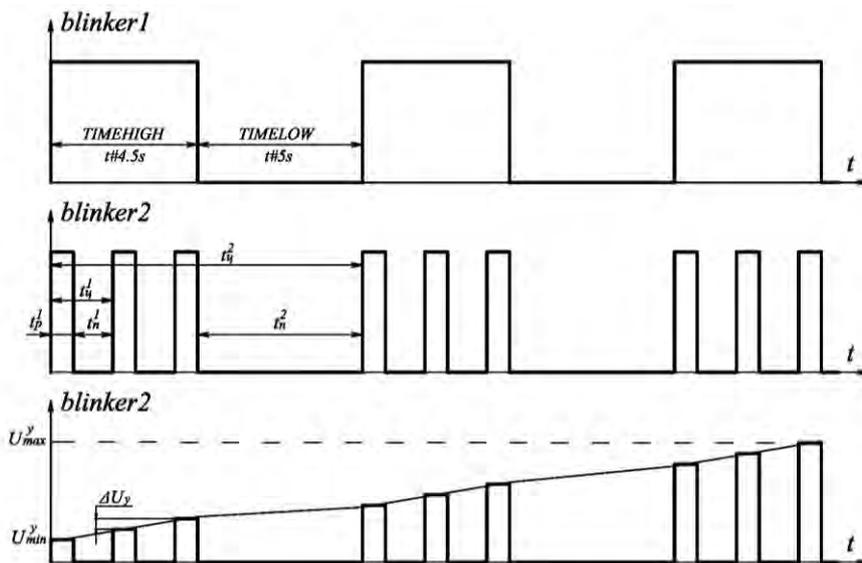


Рис. 5. Временные диаграммы работы системы управления электромагнитным прессом

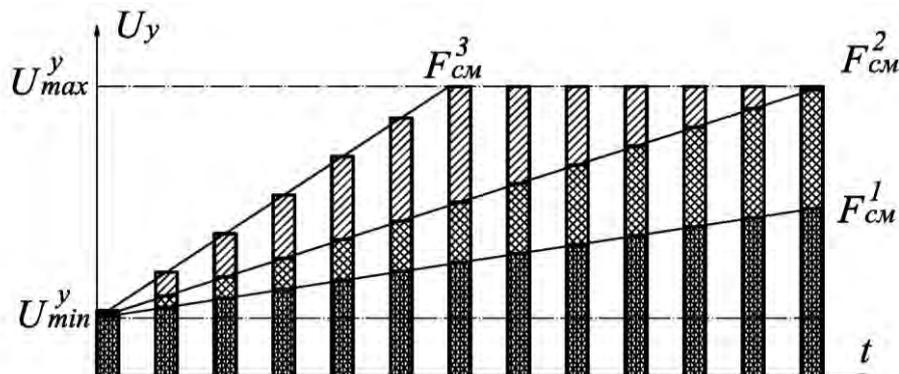


Рис.6. Диаграмма зависимости выходного напряжения  $U_y$  ПЛК от частоты ходов якоря ЛЭМД

### Результаты

Использование в электромагнитном прессе различных видов плодоовощной продукции выдвигает задачу настройки системы управления в зависимости от силы сопротивления  $F_{\text{см}}$  мезги. Таким настроечным параметром может выступать приращение напряжения управления  $\Delta U_y$  за один ход якоря ЛЭМД (рис. 6).

Чем меньше  $F_{\text{см}}$  ( $F_{\text{см}}^1 < F_{\text{см}}^2 < F_{\text{см}}^3$ ), тем полнее регулировочная характеристика и, соответственно, меньше значение  $\Delta U_y$  необходимо на каждое срабатывание двигателя:

$$\Delta U_y^1 < \Delta U_y^2 < \Delta U_y^3 \text{ или } \text{tg}\alpha_1 < \text{tg}\alpha_2 < \text{tg}\alpha_3,$$

так как

$$\Delta U_y = \frac{U_y^{\text{max}} - U_y^{\text{min}}}{n}, \text{ то } \frac{U_y^{\text{max}} - U_y^{\text{min}}}{n_1} < \frac{U_y^{\text{max}} - U_y^{\text{min}}}{n_2} < \frac{U_y^{\text{max}} - U_y^{\text{min}}}{n_3},$$

где  $\Delta U_y^1, \Delta U_y^2, \Delta U_y^3$  – приращение напряжений управления в зависимости соответственно от  $F_{\text{см}}^1, F_{\text{см}}^2, F_{\text{см}}^3$ :

$\text{tg}\alpha_1, \text{tg}\alpha_2, \text{tg}\alpha_3$  – тангенс угла наклона регулировочной характеристики к оси абсцисс в зависимости от  $F_{\text{см}}^1, F_{\text{см}}^2, F_{\text{см}}^3$  соответственно;

$n_1, n_2, n_3$  – количество ходов якоря ЛЭМД до достижения максимального выходного напряжения  $\Delta U_y^{\text{max}}$  ПЛК, соответственно, при  $F_{\text{см}}^1, F_{\text{см}}^2, F_{\text{см}}^3$ .

### Вывод

Предложенная усовершенствованная система автоматического управления с использованием программируемого логического контроллера и тензодатчика в качестве элемента обратной связи обеспечит автоматическую коррекцию выходного тягового усилия шагового ЛЭМД в составе электромеханической дискретной системы для получения сока.

### Библиографический список

1. Усанов К.М., Мошкин В.И., Каргин В.А., Волгин А.В. Линейные электромагнитные двигатели и приводы в импульсных процессах и технологиях: монография. – Курган: Изд-во Курганского гос. ун-та, 2015. – 202 с.
2. Усанов К.М., Мошкин В.И., Угаров Г.Г. Линейный импульсный электромагнитный привод машин с автономным питанием: монография. – Курган: Изд-во Курганского гос. ун-та, 2006. – 284 с.
3. Мошкин В.И., Нейман В.Ю., Угаров Г.Г. Импульсные линейные электромагнитные двигатели: монография. – Курган: Изд-во Курганского гос. ун-та, 2010. – 220 с.

4. Usanov K.M., Volgin A.V., Chetverikov E.A., Kargin V.A., Moiseev A.P., Ivanova Z.I. (2017). Power electromagnetic strike machine for engineering geological surveys. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 87 032049.

5. Усанов К.М., Каргин В.А., Трубенкова И.В. Электрический преобразователь электромагнитной ударной машины // Вавиловские чтения-2009: матер. Междунар. науч.-практ. конф. – Саратов: ООО Изд-во «КУБиК», 2009. – С. 376-378.

6. Каргин В.А. Система управления электромагнитной ударной машиной // Образовательная среда сегодня и завтра: матер. X Междунар. науч.-практ. конф. – 2015. – С. 303-306.

7. Руководство пользователя по программированию ПЛК в CoDeSyS 2.3. – редакция RU 2.4, для CoDeSyS v2.3.6.x.

### References

1. Usanov K.M. Lineynye elektromagnitnye dvigateli i privody v impulsnykh protsessakh i tekhnologiyakh: monografiya / K.M. Usanov, V.I. Moshkin, V.A. Kargin, A.V. Volgin. – Kurgan: Izd-vo Kurganskogo gos. un-ta, 2015. – 202 s.
2. Usanov K.M. Lineynyy impulsnyy elektromagnitnyy privod mashin s avtonomnym pitaniem: monografiya / K.M. Usanov, V.I. Moshkin, G.G. Ugarov. – Kurgan: Izd-vo Kurganskogo gos. un-ta, 2006. – 284 s.
3. Moshkin V.I. Impulsnye lineynye elektromagnitnye dvigateli: monografiya / V.I. Moshkin, V.Yu. Neyman, G.G. Ugarov. – Kurgan: Izd-vo Kurganskogo gos. un-ta, 2010. – 220 s.
4. Usanov K.M., Volgin A.V., Chetverikov E.A., Kargin V.A., Moiseev A.P., Ivanova Z.I. (2017). Power electromagnetic strike machine for engineering geological surveys. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 87 032049.
5. Usanov K.M. Elektricheskiy preobrazovatel elektromagnitnoy udarnoy mashiny / K.M. Usanov, V.A. Kargin, I.V. Trubenkova // Vavilovskie chteniya-2009: materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. – Saratov: ООО Izdatelstvo «KUBiK», 2009. – S. 376-378.
6. Kargin V.A. Sistema upravleniya elektromagnitnoy udarnoy mashinoy // Obrazovatel'naya sreda segodnya i zavtra: materialy X Mezhdunar. nauchno-praktich. konf., 2015. – S. 303-306.
7. Rukovodstvo polzovatelya po programmirovaniyu PLK v CoDeSyS 2.3. – redaktsiya RU 2.4, dlya CoDeSyS v2.3.6.kh.