



УДК 621.313.3

В.А. Каргин  
V.A. Kargin

## СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ СВОДОБРУШИТЕЛЕМ

### AUTOMATIC CONTROL SYSTEM OF ELECTROMAGNETIC BRIDGE BREAKING CONE

**Ключевые слова:** линейный электромагнитный двигатель, сводообрушитель, программируемые логические контроллеры.

Перспективным направлением в разработке машин для разгрузки бункерных устройств является использование импульсного силового электрического привода, имеющего в основе двигатель с линейной траекторией движения рабочего органа. При этом применение импульсного линейного электромагнитного двигателя (ЛЭМД) является предпочтительным за счет простоты конструкции, малых габаритов, надежности в работе, определяемой отсутствием обмоток возбуждения, относительно высоких удельных показателей. Повышение удельных энергетических показателей сводообрушителя тесно связано с условиями эффективного энергопреобразования в импульсных ЛЭМД. При этом применение конденсаторных источников позволяет легко реализовать в электромагните циклы с различной интенсивностью превращения магнитной энергии в механическую и восстановления магнитной энергии из электрической и представляется эффективным средством улучшения энергетических показателей сводообрушителя. Важным показателем импульсного электромагнитного сводообрушителя является энергия удара, зависящая от кинетической энергии его якоря-ударника непосредственно перед соударением с бункером. На практике обычно величину питающего напряжения выбирают так, чтобы обеспечить максимальное значение для гарантированного разрушения свода в бункере. Однако избыток электрической и механической энергии приводит к перегреву обмотки, сокращает механический ресурс подвижных частей ЛЭМД сводообрушителя. В работе предложен подход к реализации автоматической коррекции энергии удара ЛЭМД сводообрушителя секционированием емкостного накопителя энергии. Система управления снабжена автоматической защитой от аварийных режимов работы ЛЭМД сводообрушителя. В частности при превышении температуры его обмотки по сигналу обратной связи от датчика температуры производится отключение привода шнекового питателя и электромагнитной системы. При выходе из строя любого из коммутационных элементов обмотка сводообрушителя подключится к емкостному накопителю без формирования кратковременных импульсов напряжения. Якорь двигателя втянется в обмотку и обратного холостого хода не произойдет, что приведет к резкому повышению температуры. Для защиты от данного аварийного режима предназначен датчик положения якоря, при подаче управляющего сиг-

нала которого на дискретный вход программируемого логического контроллера происходит отключение привода шнека и ЛЭМД сводообрушителя.

**Keywords:** linear electromagnetic motor, bridge breaking cone, programmable logic controllers.

A promising direction in the development of machines for unloading bunker devices is the use of a pulsed electric power drive having an engine with a linear path movement of the working body. The use of a pulsed linear electromagnetic engine (LEME) is preferred due to the simplicity of the design, small size, reliability in operation, determined by the absence of excitation windings, and relatively high specific indicators. The increase in the specific energy indicators of the bridge breaking cone is closely related to the conditions of effective energy conversion in pulsed LEME. At the same time, the use of capacitor sources makes it easy to implement cycles in electromagnets with different intensities of converting magnetic energy into mechanical energy and recovering magnetic energy from electrical energy and seems to be an effective means of improving the energy performance of the bridge breaking cone. An important indicator of a pulsed electromagnetic bridge breaking cone is the impact energy, which depends on the kinetic energy of its armature just before the impact with the bunker. In practice, the value of the supply voltage is chosen so as to provide the maximum value for the guaranteed destruction of the arch in the bunker. However, an excess of electrical and mechanical energy leads to overheating of the winding, reducing the mechanical resource of the moving parts of the LEME of the bridge breaking cone. This paper proposes an approach to the implementation of automatic impact energy correction of LEME of the bridge breaking cone by partitioning capacitive energy storage. The control system is equipped with automatic protection against emergency operation of LEME of the bridge breaking cone. In particular, when the temperature of its winding is exceeded, a screw feeder drive and an electromagnetic system are disconnected by a feedback signal from the temperature sensor. When any of the switching elements fails, the coil of the bridge breaking cone will connect to the capacitive drive without generating short voltage pulses. The armature of the engine will be pulled into the winding and there will be no reverse idling, which will lead to a sharp rise in temperature. The armature position sensor is designed to protect against this emergency mode. When the control signal is applied to the discrete input of the programmable logic controller, the auger drive and LEME of the bridge breaking cone are disconnected.

**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 разгрузки бункерных устройств является использование импульсного силового электрического привода, имеющего в основе двигатель с линейной траекторией движения рабочего органа [1-3]. При этом применение импульсного 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].

Повышение удельных энергетических показателей сводообрушителя тесно связано с условиями эффективного энергопреобразования в импульсных ЛЭМД [3]. При этом применение конденсаторных источников позволяет легко реализовать в двигателе циклы с различной интенсивностью превращения магнитной энергии в механическую и восстановления магнитной энергии из электрической и представляется эффективным средством улучшения энергетических показателей сводообрушителя с импульсным ЛЭМД.

Важным показателем электромагнитного сводообрушителя является энергия удара  $A_y$ , зависящая от кинетической энергии его якоря-ударника непосредственно перед соударением с бункером. На практике, обычно, величину питающего напряжения выбирают так, чтобы обеспечить максимальное значение  $A_y$  для гарантированного разрушения свода в бункере [1, 2].

Однако избыток электрической  $W_{эл}$  энергии приводит к перегреву обмотки, а механической энергии – сокращает ресурс подвижных частей ЛЭМД сводообрушителя.

**Целью** работы является реализация системы автоматического управления (САУ) энергией удара сводообрушителя с ЛЭМД от электрического преобразователя с секционированным емкостным накопителем энергии.

В соответствии с поставленной целью необходимо решить следующие **задачи**:

– обеспечение повышения напряжения  $\Delta U_y$  питающего импульса ЛЭМД, пропорционального количеству циклов за время технологического процесса;

– обеспечение срабатывания ЛЭМД сводообрушителя с управлением в функции времени: время цикла  $t_{ц}^1 = t_{п}^1 + t_{н}^1 = 1,5 \text{ с}$ ,  $t_{п}^1 = 0,5 \text{ с}$ ,  $t_{н}^1 = 1,0 \text{ с}$ ;

– обеспечение аварийной остановки электропривода при сводообразовании после 3 циклов срабатывания ЛЭМД с включением светозвуковой сигнализации;

– обеспечение аварийной остановки электропривода шнекового питателя и ЛЭМД сводообрушителя при превышении температуры обмотки ЛЭМД:

- при выходе из строя любого из коммутационных элементов КЭ1-КЭ3;
- при многократных ( $n \geq 30$ ) срабатываниях ЛЭМД сводообрушителя.

### Объект и методика исследований

Функциональная схема системы автоматического управления представлена на рисунке 1. Питание электромагнитного сводообрушителя 5 (ЭМС) осуществляется от секционированного емкостного накопителя 9 (СЕН) через блок коммутационных элементов 8 (КЭ1...КЭ3), например, транзисторов MOSFET.

Запуск шнека 2 осуществляется кнопкой управления 13 (КУ). Для контроля истечения муки из бункера используется оптический датчик 4 (ДО), работающий по принципу приема прямого луча от излучателя (Т-типа).

При возникновении свода в бункере 1 сигнал от датчика ДО подается в программируемый логический контроллер 6 (ПЛК), на выходе которого формируется сигнал управления коммутационным элементом КЭ1. Одна из секций накопителя 9 напряжением  $0,3U_m$ , где  $U_m$  – максимальное напряжение заряда, подключается к обмотке электромагнитного сводообрушителя 5, который производит три удара с энергией  $A_{уд}$  по стенке бункера 1. Если истечение муки не возобновилось, контроллер 6 подает сигнал управления на КЭ2, и к обмотке ЭМС подключается дополнительная секция емкостного накопителя, напряжение увеличивается до  $0,6U_m$ , энергия удара повышается до  $A_{уд2} > A_{уд1}$ .

Условием подключения сводообрушителя на максимальное напряжение  $U_m$  является продолжающийся режим отсутствия течения муки. При этом воздействие ударника на стенку бункера происходит с максимальной энергией  $A_{уд}^{max2} > A_{уд}^2$ .

Если свод не разрушился, контроллер подает сигнал на отключение сводообрушителя и привода шнека 3 (ПШ) с одновременным включением светозвуковой сигнализации 7 (СЗС).

Система управления снабжена автоматической защитой от аварийных режимов работы ЛЭМД. В частности, при превышении температуры его обмотки по сигналу обратной связи от датчика температуры 12 (ДТ) производится отключение привода ПШ и ЭМС (рис. 1).

При выходе из строя любого из коммутационных элементов КЭ1...КЭ3 обмотка сводообрушителя подключится к емкостному накопителю без

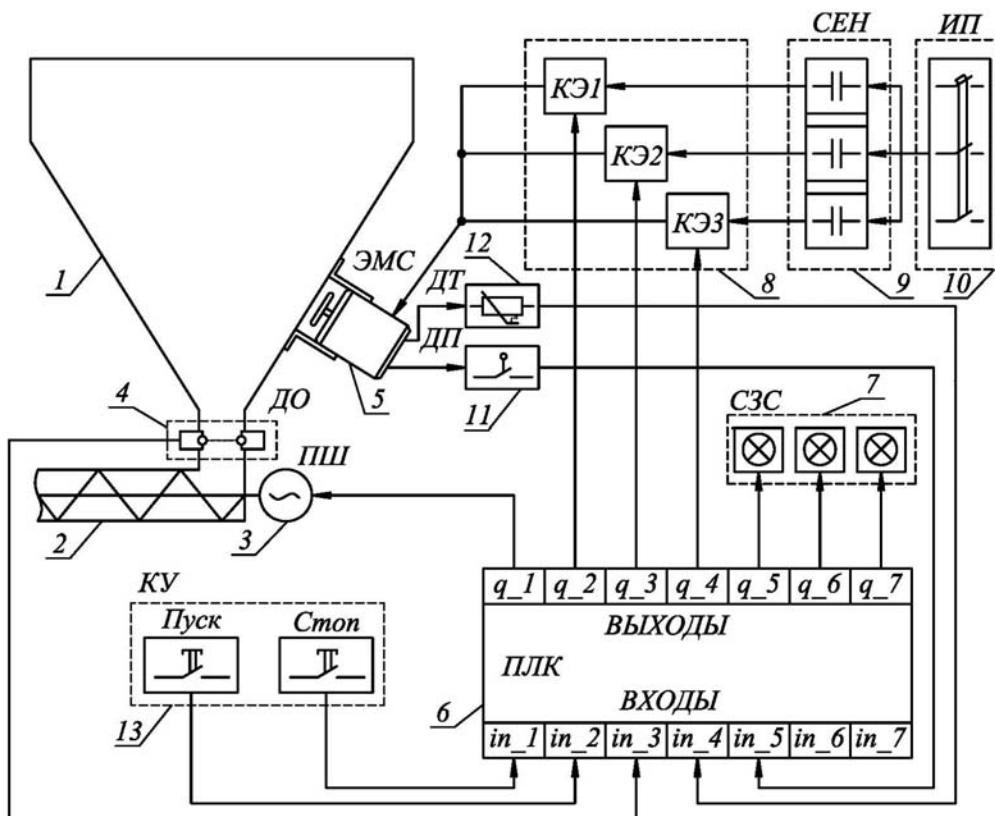
формирования кратковременных импульсов напряжения. Якорь двигателя втянется в обмотку, и обратного холостого хода не произойдет, что приведет к резкому повышению температуры.

Для защиты от данного аварийного режима предназначен датчик положения якоря 11 (ДП), при подаче управляющего сигнала которого более 2 с на дискретный вход ПЛК происходит отключение привода шнека 3 и ЛЭМД сводообрушителя ЭМС.

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

### Результаты

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



**Рис. 1. Функциональная схема системы автоматического управления сводообрушителем:**  
 1 – бункер; 2 – шнек; 3 – привод шнека; 4 – оптический датчик,  
 5 – электромагнитный сводообрушитель; 6 – программируемый логический контроллер;  
 7 – светозвуковая сигнализация; 8 – коммутационные элементы;  
 9 – секционированный емкостный накопитель; 10 – источник питания; 11 – датчик положения;  
 12 – датчик температуры; 13 – кнопки управления

Глобальные Входы и Выходы ПЛК

№ п/п	Наименование	Тип сигнала	Обозначение	Номер входа/выхода
<b>ВХОДЫ</b>				
1	Кнопка запуска шнека	дискретный	pusk	in_1
2	Кнопка остановки шнека	дискретный	stop	in_2
3	Оптический датчик	дискретный	dat_optic	in_3
4	Датчик температуры	аналоговый	dat_temp	in_4
5	Датчик положения	дискретный	dat_polog	in_5
<b>ВЫХОДЫ</b>				
6	Привод шнека	дискретный	shnek	q_1
7	Коммутационный элемент 1	дискретный	kommut 1	q_2
8	Коммутационный элемент 2	дискретный	kommut 2	q_3
9	Коммутационный элемент 3	дискретный	kommut 3	q_4
10	Свето-звуковая сигнализация 1	дискретный	signal 1	q_5
11	Свето-звуковая сигнализация 2	дискретный	signal 2	q_6
12	Свето-звуковая сигнализация 3	дискретный	signal 3	q_7

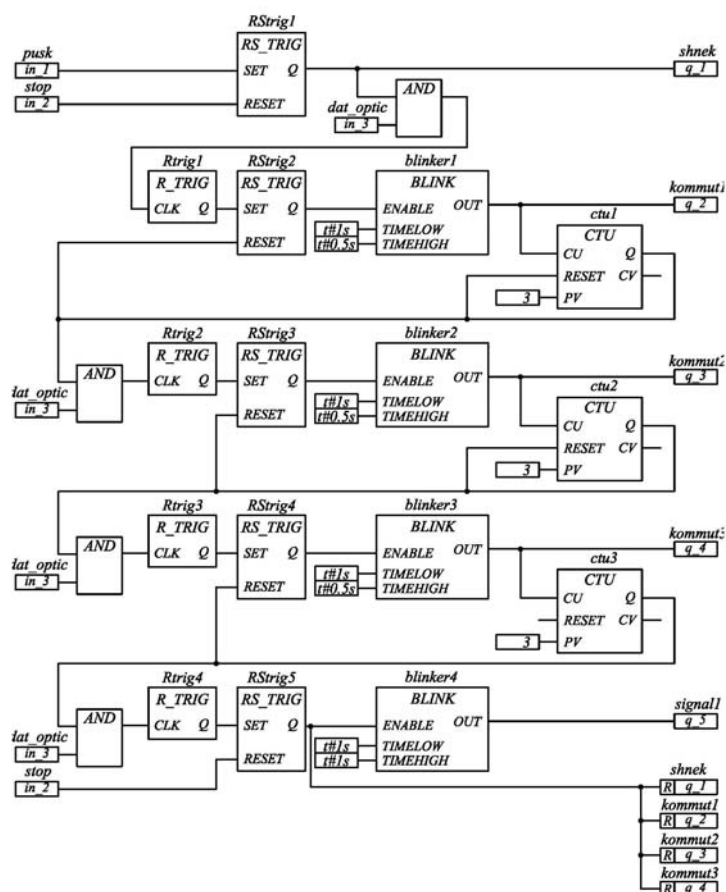


Рис. 2. Логическая схема управления электромагнитным приводом шнека

При подаче на дискретный вход in\_1 контроллера ПЛК сигнала от нормально разомкнутого контакта кнопки управления КУ «pusk» на входе SET функционального блока RS-триггера «RStrig1» формируется сигнал TRUE (истина или

логическая единица). На выходе Q «RStrig1» устанавливается логическая единица, включая привод шнека «shnek» (дискретный выход q\_1).

При отсутствии истечения муки из бункера 1 (рис. 1) срабатывает фотозащитный элемент оптического

датчика «dat\_optic» (дискретный вход in\_3), сигнал TRUE, формирующийся на выходе блока AND (побитное И), подается на вход CLK блока «Rtrig1», генерирующий единичный импульс на вход SET «RStrig2», на выходе которого устанавливается логическая единица. Сигнал TRUE получает вход ENABLE функционального блока «Blinker 1» (генератор прямоугольных импульсов), программируемый так, чтобы обеспечить длительность импульса TIMEHIGH 0,5 с ( $t \# 0.5 \text{ s}$ ), в течение которого на дискретный вход kommut1 будут подаваться логическая единица и время паузы TIMELOW 1 с ( $t \# 1 \text{ s}$ ).

Формирование управляющих импульсов на выходе q\_2 ПЛК обеспечивает подключение обмотки электромагнитного сводообрушителя ЭМС (рис. 1) и секции емкостного накопителя СЕН, заряженного до напряжения  $0,6U_m$ .

Число импульсов с выхода OUT блока «Blinker1» фиксирует инкрементный счетчик «ctu1» и при достижении их количества, заданного на входе PV (например, 3 шт.), выход Q переходит в TRUE, подавая сигнал на вход RESET счетчика «ctu1» и сбрасывая его в ноль, и на вход блока «RStrig2». При этом характерной особенностью RS-триггера является то, что при одновременной подаче сигналов TRUE на его входы SET и RESET приоритет обеспечивается по входу RESET, то есть перевод выхода Q из TRUE в FALSE (ложь или логический ноль).

Если истечение муки не возобновляется, то по описанному выше алгоритму происходит включение выхода kommut 2 (дискретный выход q\_3) с подключением к электромагнитному сводообрушителю дополнительной секции емкостного накопителя. Энергия удара по стенке бункера возрастает.

Светозвуковая сигнализация signal 1 (дискретный выход q\_5) включается от генератора им-

пульсов «Blinker 4» и свидетельствует об отсутствии течения муки после подачи через kommut 3 (дискретный выход q\_4) максимального  $U_m$  напряжения на обмотку двигателя сводообрушителя. Одновременно происходит отключение выходов q\_1 – q\_4.

Остановка шнека и сводообрушителя осуществляется от нормально разомкнутой кнопки stop (дискретный вход in\_2).

Максимальная энергия удара обеспечивается при условии форсированного потребления электрической энергии двигателем сводообрушителя. При этом частое образование сводов приводит к многократным срабатываниям ЛЭМД и, как следствие, повышению температуры обмотки. Для его защиты от перегрева разработана логическая схема (рис. 3).

На входе функционального блока GT (двоичный оператор сравнения) подается сигнал от датчика температуры dat\_temp (аналоговый вход in\_4), сравнивается со значением temp, введенным оператором в соответствии с классом нагревостойкости обмотки. Если  $\text{dat\_temp} > \text{temp}$ , то на выходе блока GT появляется TRUE, отключаются выходы q\_1 – q\_4, запускается генератор прямоугольных импульсов «Blinker 5» и с заданной частотой включается свето-звуковая сигнализация signal 2 (дискретный вход q\_6).

При выходе из строя любого из трех коммутационных элементов обмотка двигателя подключается к источнику без формирования униполярных импульсов напряжения. Якорь ЛЭМД совершает рабочий ход, а постоянная электромагнитная сила удерживает его в притянутом состоянии. Для защиты двигателя от данного аварийного режима на рисунке 4 представлена логическая схема.

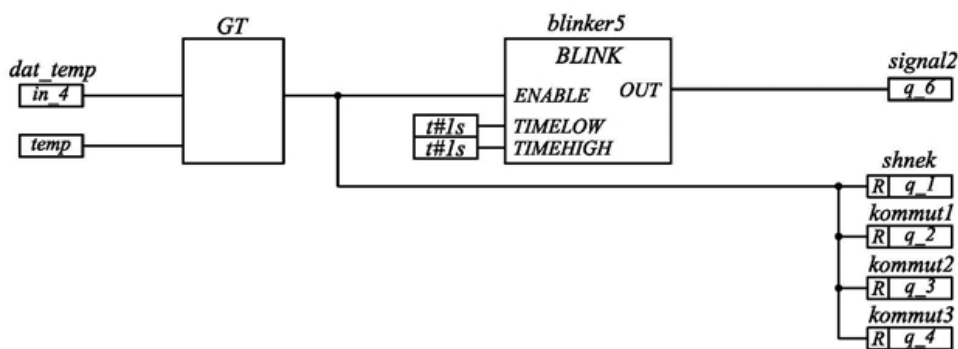


Рис. 3. Логическая схема защиты электромагнитного сводообрушителя от превышения температуры обмотки

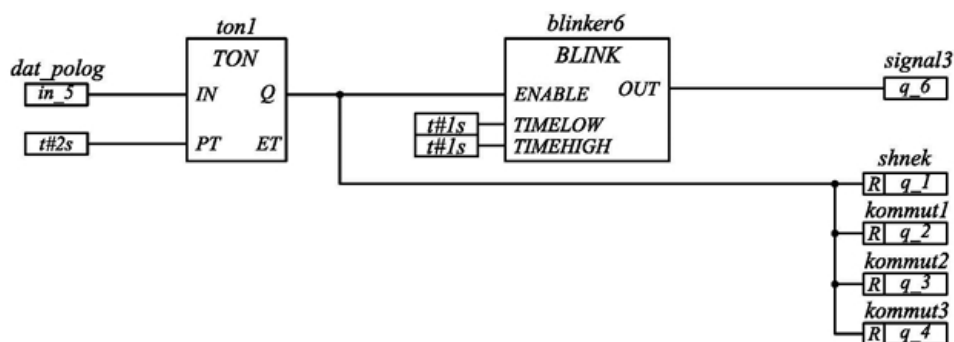


Рис. 4. Логическая схема защиты электромагнитного сводообрушителя от «запирания» якоря

ЛЭМД снабжен датчиком положения, срабатывающим при достижении якоря конца рабочего хода, сигнал *dat\_polog* (дискретный вход *in\_5*) от которого подается на IN таймера с отсрочкой включения «*ton1*». При нормальной работе двигателя время импульса на входе IN от *dat\_polog* не превышает 0,1 с.

В случае аварийного режима, когда якорь находится в притянутом состоянии, например, более двух секунд, на выходе Q функционального блока «*ton1*» устанавливается сигнал TRUE, запускающий светозвуковую сигнализацию *signal 3* (дискретный выход *q\_7*) через генератор импульсов «*Blinker 6*» и отключающий выходы *q\_1* – *q\_4*.

### Вывод

Предложенная усовершенствованная система автоматического управления с использованием программируемого логического контроллера и оптического датчика в качестве элемента обратной связи обеспечит автоматическую коррекцию энергии удара ЛЭМД в составе электромеханической системы для разрушения сводов.

### Библиографический список

1. Усанов К.М., Каргин В.А., Волгин А.В. Импульсная система с линейным электромагнитным двигателем для интенсификации разгрузки бункеров // Научное обозрение. – 2012. – № 6. – С. 255-258.
2. 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.
3. 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.

4. Мошкин В.И., Нейман В.Ю., Угаров Г.Г. Импульсные линейные электромагнитные двигатели : монография. – Курган: Изд-во Курганского гос. ун-та, 2010. – 220 с.

5. 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.

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. Impulsnaya sistema s lineynym elektromagnitnym dvigatelem dlya intensivatsii razgruzki bunkerov / K.M. Usanov, V.A. Kargin, A.V. Volgin // Nauchnoe obozrenie. – 2012. – No. 6. – S. 255-258.
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. 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 geo-

logical surveys. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 87 032049.

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.



УДК 664.73:659.27

С.Ю. Бузоверов  
S.Yu. Buzoverov

## К ВОПРОСУ МОДЕРНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ СТАЦИОНАРНЫХ ЗЕРНОХРАНИЛИЩ НАПОЛЬНОГО ТИПА

### ON THE ISSUE OF MODERNIZATION OF THE VENTILATION SYSTEM OF STATIONARY FLAT-TYPE GRAIN STORAGE

**Ключевые слова:** агропромышленный комплекс, система вентиляции, воздушные каналы, зерно, стационарное зернохранилище напольного типа.

Проведены исследования по механико-технологическому обоснованию модернизации системы активного вентилирования зерна в процессе его хранения в стационарных зернохранилищах напольного типа. Практический результат, полученный при модернизации системы вентиляции, заключается в сокращении времени вентилирования за счет увеличения равномерности продувания зерновой массы и уменьшения застойных зон. В качестве прототипа была взята установка СВУ-1, недостатком конструкции которой является низкое качество вентилирования зерна. Из-за неравномерного распределения воздушного потока в толще зернового слоя образуются застойные зоны. Это увеличивает время вентилирования, а также может ухудшить качество заложенного на хранение зерна. Для решения проблемы наличия застойных зон при использовании установки активного вентилирования подпольного типа была построена и протестирована лабораторная модель. Для уменьшения количества неventилируемых зон зернового слоя форма вентиляционных каналов была изменена с прямоугольной на трапециевидную. Проведенные исследования показали, что разница максимальной и минимальной конечной температур в толще зернового материала достигает 1,3°C при трапециевидном канале и 2,2°C при прямоугольном, следовательно, равномерность вентилирования повысилась. Установка активного вентилирования с модернизированными вентиляционными каналами за счет равномерного распределения воздушного

потока по зерновой насыпи имеет высокую эффективность. Она позволяет сохранять зерно без потерь его качества.

**Keywords:** agricultural industry complex, ventilation system, air ducts, grain, stationary flat-type grain storage.

The studies on the mechanical and technological substantiation of the modernization of the system of forced ventilation of grain during storage in stationary flat-type grain storages were conducted. The practical result obtained by the modernization of the ventilation system was the reduction of the ventilation time through increasing the uniformity of grain mass aeration and reducing dead air zones. The SVU-1 ventilating plant was taken as a prototype; the design defect of which was low quality of grain ventilation. Dead air zones are formed in the grain mass due to uneven distribution of air flow. This increases the ventilation time and may also degrade the quality of grain put up for storage. To solve the problem of dead air zones when using a forced ventilation plant for flat-type grain storage, a laboratory model was built and tested. To reduce the number of non-aerated zones of the grain layer, the shape of the air ducts was changed from rectangular to trapezoidal. The studies have shown that the difference between the maximum and minimum final temperatures in the grain mass reaches 1.3°C with a trapezoidal air duct, and 2.2°C with a rectangular air duct; therefore, the uniformity of ventilation has improved. The forced ventilation plant with redesigned air ducts is highly efficient due to the uniform distribution of air flow through the grain mass. The plant enables to store grain without losing its quality.