

**Б. Г. ЛЮБАРСКИЙ**, докт. техн. наук, проф. НТУ «ХПИ»;  
**С. Г. БУРЯКОВСКИЙ**, канд. техн. наук, доц. УкрГУЖТ;  
**АР. С. МАСЛИЙ**, канд. техн. наук, стар. преп. УкрГУЖТ;  
**АН. С. МАСЛИЙ**, инженер ООО «Укртрансигна», Харьков.

## ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА СТРЕЛОЧНОГО ПЕРЕВОДА НА БАЗЕ ЛИНЕЙНОГО ДВИГАТЕЛЯ

**Введение.** Основной тенденцией в развитии конструкций электроприводов (ЭП) стрелочных переводов является создание мехатронных систем с минимумом ступеней преобразования энергии. В таких приводах электродвигатель непосредственно преобразует электрическую энергию в линейную силу без промежуточного редуктора, что обеспечивает снижение энергопотребления, повышение надежности и безопасности, а также к снижению затрат времени на укладку стрелочного перевода (СП), как для обычного, так и высокоскоростного движения, за счет отказа от предварительного монтажа на вспомогательной площадке.

**Постановка задачи.** Стрелочные переводы работают под открытым небом при различных условиях под влиянием погодных факторов (упавшие сухие листья, дождь, снег и т.д.). Имеют место случаи, когда остряк контактирует не со всеми переводными подушками. Кроме того, переводные поверхности могут быть смазаны (штатное состояние) либо смазаны частично, либо не смазаны вообще (нештатное состояние). Существует проблема загрязнения переводных поверхностей в результате попадания частичек перевозимых грузов (угольная пыль, рудная пыль, цемент, мазут, т.д.). Поэтому коэффициент трения не одинаков по всему пути движения остряка, что создает условия для возникновения фрикционных автоколебаний [1,2,3]. Кроме того, присутствие зазоров в стрелочном переводе не только в соединениях тяг, но и в редукторе негативно сказывается на качестве процесса перевода [1,2], поэтому сведение их к минимуму даст положительный результат. Так как значительная часть энергии тратится в редукторе [1,2], то его упрощение также является одной из основных задач. Все эти рекомендации должны быть учтены при разработке ЭП СП нового типа.

**Материалы исследования.** Приведение в движение исполнительного механизма и управление этим движением для выполнения технологических операций являются основными задачами автоматизированного электропривода. При этом необходимо знать общие особенности электромеханической системы (ЭМС), важнейшие её элементы, связи и параметры. Поэтому на основе кинематической схемы механизма составляются расчетные схемы, описывающие движение электропривода дифференциальными уравнениями.

Электропривод СП выполнен на основе линейного двигателя (ЛД) [4]. Такой привод позволяет создать большие электромагнитной силы. Обеспечение же точности перемещения осуществляется за счет его системы управления. Ввиду выше сказанного, предлагаемый привод СП с расположением оборудования в нем представлен на рис. 1.

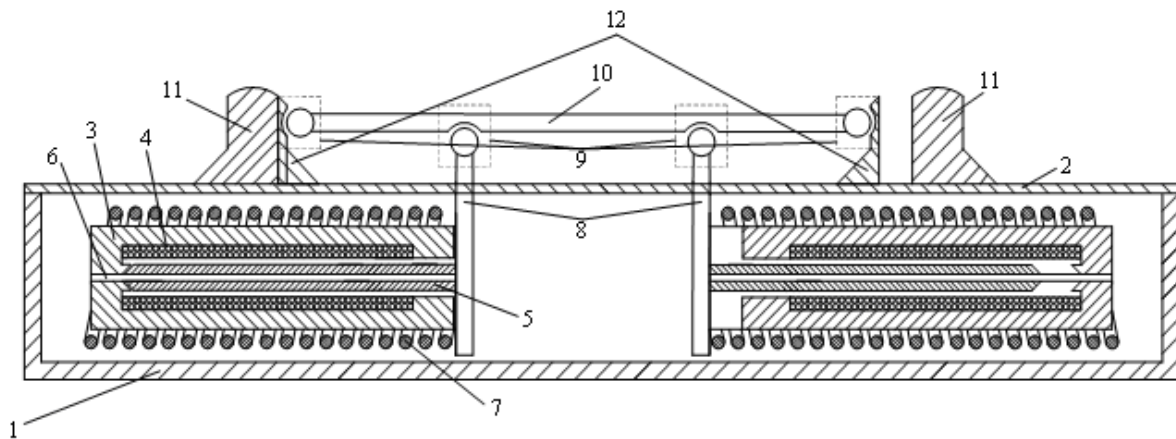


Рис. 1 – Кинематическая схема стрелочного перевода

Весь перевод помещён в корпусе (1) с крышкой (2) (имеет вид шпалы), на котором закреплен рамный рельс (11). ЛД состоит из четырёх основных частей: статора (3), электромагнитной катушки (4), якоря (5) и направляющего стержня (6). ЛД осуществляет преобразование электрической энергии в механическую, приводя в движение якорь двигателя, который через вертикальные тяги (8), шарниры (9) и продольную тягу (10) передают усилие острякам (12), которые осуществляют свое перемещение между рамным рельсом (11).

© Б.Г. Любарский, С.Г. Буряковский, Ар.С. Маслий, Ан.С. Маслий, 2015

В начале перевода расстояние между якорем и статором соответствует расстоянию между острием и рамным рельсом и равно 152 мм. Создаваемая ЛД электромагнитная сила перемещает якорь по направляющему стержню. Применение пружин (7) обусловлено недостаточным значением электромагнитной силы в начале перевода, а также обеспечением необходимого усилия в случае примерзания острия к рамному рельсу. Весь привод стрелочного перевода состоит из двух представленных частей для осуществления реверсивной работы.

Ввиду того, что усилие к продольной тяге от якорей передается через две вертикальные тяги (усилие к продольной тяге прикладывается в двух точках), а также пренебрегая зазорами в шарнирных соединениях (поскольку эти зазоры малы), предлагаемую кинематическую схему (рис. 1) можно представить, как абсолютно жесткую систему, а, следовательно, многомассовую модель ЭМС существующего СП можно заменить одно-массовой (рис. 2):

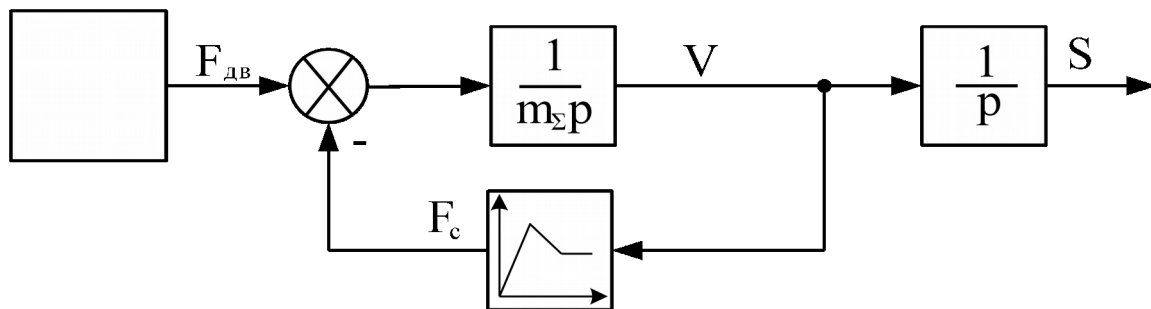


Рис. 2 – Структурная схема стрелочного перевода

В предыдущих работах [4, 5, 6] на основе уравнения Лагранжа [7] была получена система дифференциальных уравнений (1).

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{di}{dt} = \frac{1}{\partial \Psi(i, x)} \left[ E - \frac{\partial \Psi(i, x)}{\partial x} V - ir \right]; \\ \frac{\partial}{\partial x} \left( \int_0^i \Psi(i, x) di \right) - \alpha V - F_c + 2 F_{np} = m \frac{dV}{dt}; \\ \frac{dx}{dt} = V. \end{array} \right. \quad (1)$$

где  $i$  – ток в обмотке статора;

$\Psi(i, x)$  – потокосцепление статора;

$E$  – напряжение источника питания;

$r$  – сопротивление обмотки статора;

$V$  – скорость движения якоря;

$\alpha$  – коэффициент трения между направляющей и якорем;

$F_c$  – сила сопротивления;

$F_{np}$  – сила пружины;

$x$  – перемещение якоря.

Для идентификации параметров машины необходимо установить зависимости между потокосцеплением  $\Psi(i, x)$ , с одной стороны, обобщенными координатами и их производными с другой. Для этого был проведен комплекс цифровых экспериментов и определены эти зависимости. Для определения значения потокосцеплений был проведен расчет магнитного поля ЛД в двумерной постановке с использованием метода конечных элементов для плоскопараллельной задачи. По результатам анализа магнитного поля можно определить значения потокосцепления  $\Psi(i, x)$  ЛД и значение электромагнитной силы.

Расчет осуществлялся с помощью подпрограммы, написанной в текстовом файле на языке Lua. Граничными областями такого расчета было положения якоря – от 152 до 0 мм. Распределения электромагнитной силы и потокосцепления в виде поверхностей представлены на рис. 3.

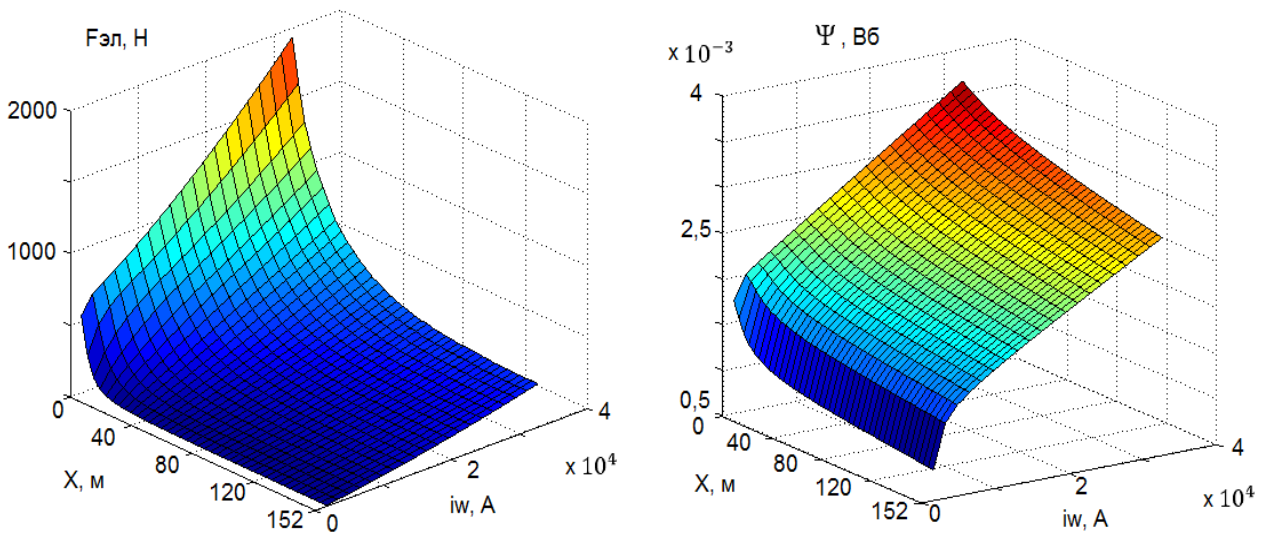


Рис. 3 Результаты цифрового моделирования а – электромагнитная сила, б – потокосцепление

На основании дифференциальных уравнений (1) и полученных в результате аппроксимации непрерывных зависимостей потокосцепления и электромагнитной силы (рис. 3) была построена структурная схема электропривода с ЛД, представленная на рис. 4.

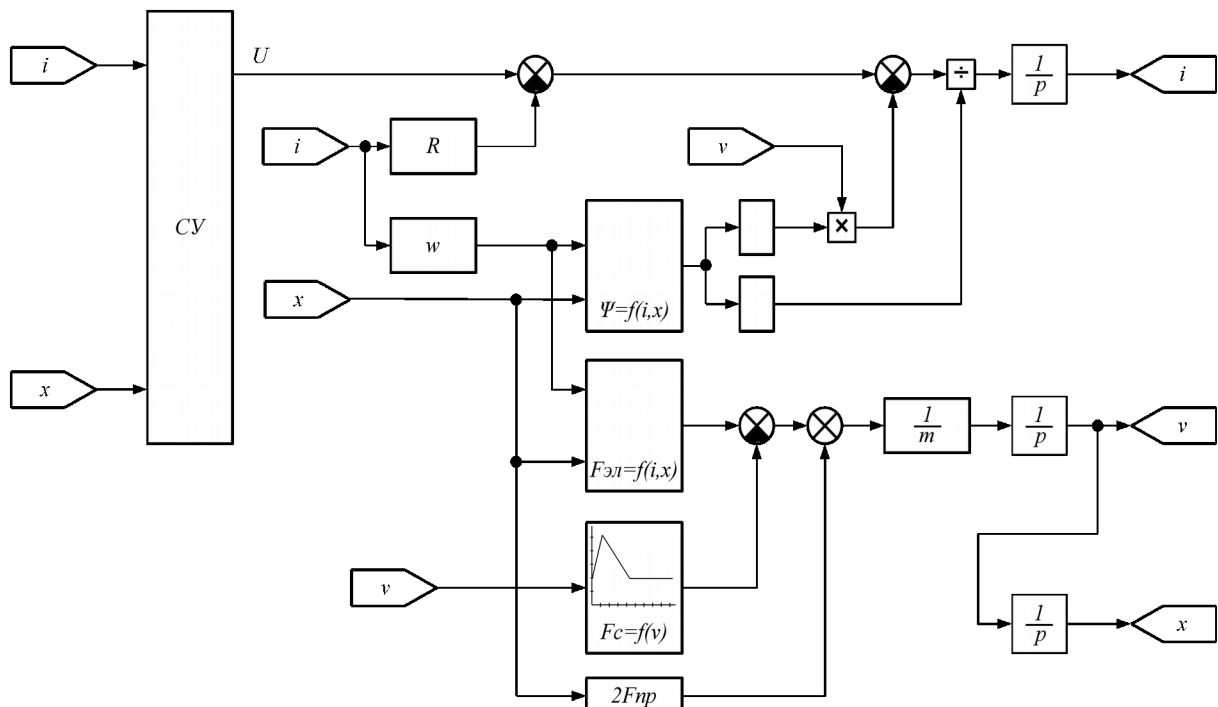


Рис. 4 – Структурная схема электропривода с ЛД

Усилие перевода стрелки зависит от веса перемещаемых частей стрелки, типа рельсов, места закрепления переводных тяг и коэффициента трения остяков о подушки. Все указанные величины, за исключением последней известны и для распространенных видов стрелок представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные данные переводных масс

Тип рельса	Марка перевода	Длина остяка, м	Вес остяка, Н	Количество подушек
P75	1/11	8,3	4150	16
P65	1/9	7	3000	12
P65	1/11	8,3	3600	16
P65	1/18	15,5	6700	28
P65	1/22	18,5	8000	34

Величина коэффициента трения может находиться в пределах от 0,05 до 0,8 и зависит от состояния стрелки - качества смазки стрелочных подушек, чистоты обработки их поверхностей, а также подошв острияков и других факторов. Средняя величина коэффициента трения по поверхности сталь-сталь приведена в таблице 2.

Таблица 2 – Коэффициент трения

Трущиеся материалы	Коэффициент трения			
	покоя		скольжения	
	без смазки	со смазкой	без смазки	со смазкой
Сталь — сталь	0,8	0,5-0,4	0,15-0,3	0,05-0,18

На основе [1,2,3] при моделировании принята на рассмотрение характеристика трения, которая представлена на рис. 5.

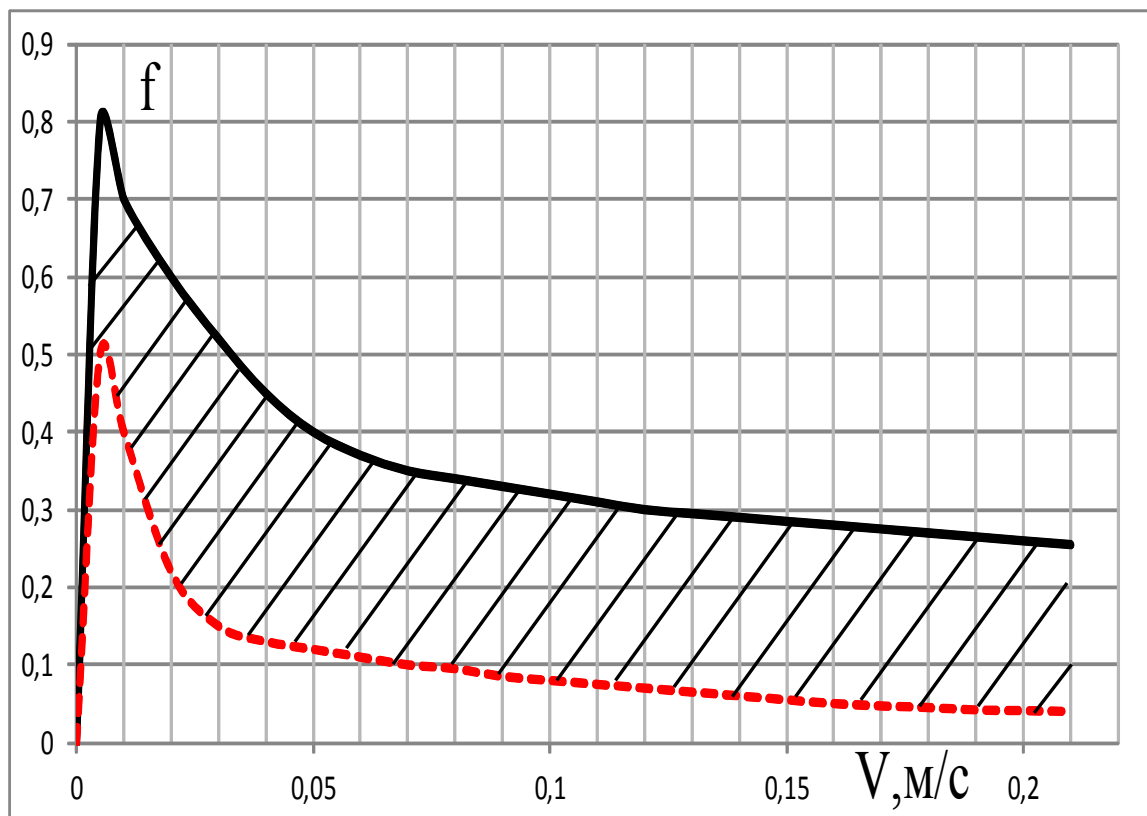


Рис. 5 – Область изменения коэффициента трения

При работе СП коэффициент трения контактирующих поверхностей может находиться в заштрихованной области, ограниченной двумя кривыми.

На основании разработанной структурной схемы электропривода и с учетом рекомендаций приведенных в [2, 3], был проведен комплекс имитационных экспериментов по моделированию работы СП при минимальных, средних и максимальных значениях коэффициента трения. Исследования показали, что при определенных сочетаниях значений характеристики нагрузки в кинематической линии СП могут возникать колебания в интервале времени от 0,6 до 0,8 с от начала движения, что соответствует середине хода ЛД, величиной до 250 Н. С увеличением жесткости характеристики трения этот эффект снижается по времени его протекания с 0,22с при  $\beta = 5$  Нс/м до 0,09с при  $\beta = 7$  Нс/м. При максимальном значении жесткости (10 Нс/м) он вообще не наблюдается. Процессы показаны на рис. 6, 7, 8.

**Выводы.** Исследования показали, что при определенных сочетаниях значений характеристики нагрузки в кинематической линии СП могут возникать колебания электромагнитной силы ЛД в интервале времени от 0,7 до 0,8 с от начала движения, что соответствует середине хода ЛД, величиной до 250 Н. Кроме того, жесткость характеристики трения влияет на время перевода стрелки. Полученные результаты показывают целесообразность применения системы управления, что позволит осуществлять регулировку скорости движения острияков и плавный их довод к рамному рельсу.

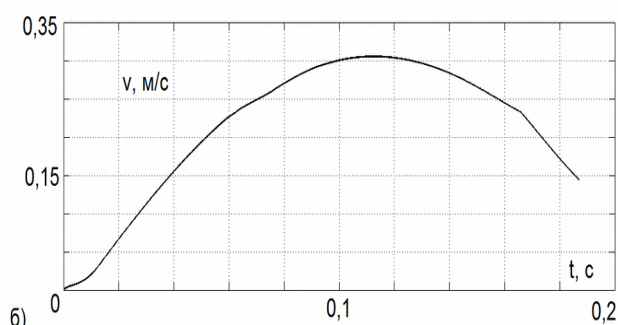
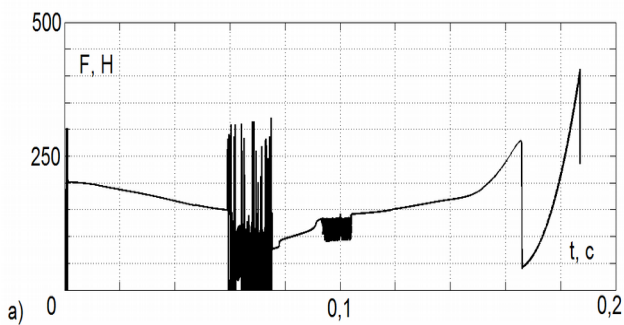


Рис. 6 – Графики изменения тяговой силы (а) и скорости (б) при жёсткости характеристики трения  $\beta = 5$  Нс/м.

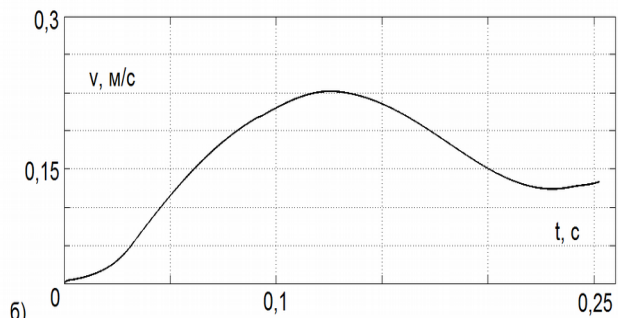
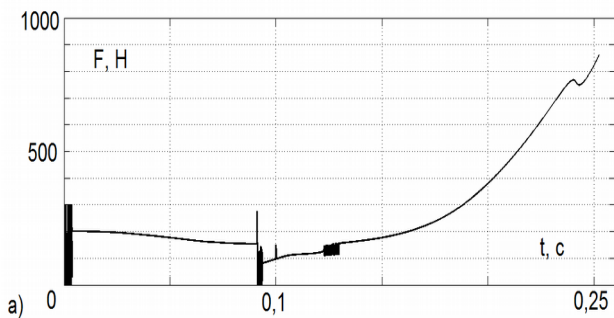


Рис. 7 – Графики изменения тяговой силы (а) и скорости (б) при жёсткости характеристики трения  $\beta = 7$  Нс/м.

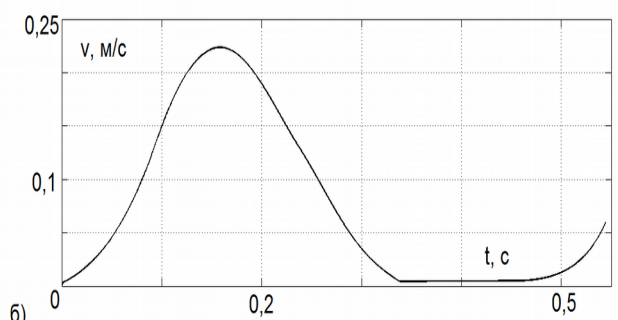
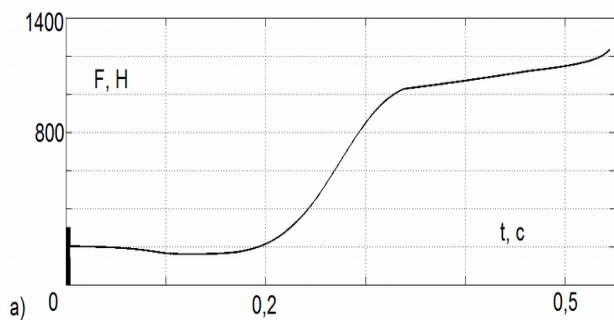


Рис. 8 – Графики изменения тяговой силы (а) и скорости (б) при жёсткости характеристики трения  $\beta = 10$  Нс/м.

**Список литературы:** 1. Маслий А.С. Микропроцессорный вентильно-индукторный электропривод стрелочного перевода моношального типа: дис. к.т.н.: 05.09.03 / Маслий Артем Сергеевич. Харьков, 2014. – 192 с. 2. Смирнов В.В. Синтез системы управления регулируемого электропривода стрелочного перевода как многомассовой электромеханической системы: дис. к.т.н.: 05.09.03 / Смирнов Василий Васильевич. Харьков, 2012. – 219 с. 3. Резников Ю.М. Стрелочные электроприводы электрической и горочной централизации / Резников Ю.М. Москва: Транспорт, 1975. - 152 с. 4. Буряковский С.Г. Расчет тяговой характеристики линейного двигателя для стрелочного перевода / Ар.С. Маслий, Ан.С. Маслий, Б.Г. Любарский, С.Г. Буряковский // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. - Харків: УкрДАЗТ. – 2015. – №1(110). – С.83-87. 5. Buryakovskiy S. Mathematical modeling of the electric drive turnouts based on a linear motor / Ar. Masliy, An. Masliy, B. Lyubarskiy, S. Buryakovskiy // Electrotechnic and computer systems. - O: Science and Technical. – 2015. – №19(95). – P.75-78. 6. Буряковский С. Г. Математическое описание работы электропривода стрелочного перевода на базе линейного двигателя / С. Г. Буряковский, Ар. С. Маслий, Ан. С. Маслий, Б. Г. Любарский, // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – Харків : УкрДАЗТ. – 2015. – № 3 (122). – С. 61 – 68. 7. Уайт Д. Электромеханическое преобразование энергии / Д. Уайт, Г. Вудсон – Москва: Издательство «Энергия», 1964. – с.528.

**Bibliography:** 1. Masliy A. Microprocessor switched-inductor sleeper type electric drive: dissertation: 05.09.03 / Masliy A. Kharkov, 2014. – 192 p. 2. Smirnov V. Synthesis of control regulated electric turnouts like multimass electromechanical system: dissertation: 05.09.03 / Smirnov V. Kharkov, 2012. – 219 p. 3. Reznikov Y. Electric drive switches of electric and hump centralization / Reznikov Y. Moscow: Transport, 1975. - 152 p. 4. Buryakovskiy S. Calculation of the traction characteristics of the linear motor for turnouts / Ar. Masliy, An. Masliy, B. Lyubarskiy, S. Buryakovskiy // Information management systems for rail transport. – Kharkov. – 2015. – №1(110). – С.83-87. 5. Buryakovskiy S. Mathematical modeling of the electric drive turnouts based on a linear motor / Ar. Masliy, An. Masliy, B. Lyubarskiy, S. Buryakovskiy // Electrotechnic and computer systems. - O: Science and Technical. – 2015. – №19(95). – P.75-78. 6. Buryakovskiy S. The mathematical model of the work of the electric drive turnouts based on a linear motor / Ar. Masliy, An. Masliy, B. Lyubarskiy, S. Buryakovskiy // Information management systems for rail transport. – Kharkov. – 2015. – № 3 (122). – p.61 – 68. 7. David C. White. Electromechanical energy conversion. – New York, USA, – 1959 – 528 p.

Поступила (received) 24.08.2015