

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА МЕХАНИЗМОВ ПОСТУПАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ

<sup>1</sup>Юнусов Р.Ф., <sup>2</sup>Имомназаров А.Б., <sup>3</sup>Бобокулов З.А.

<sup>1</sup>Юнусов Рустем Фаикович – кандидат технических наук, доцент, Национальный исследовательский университет. "Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства», г. Ташкент. Республика Узбекистан. E-mail: [rustem-59@mail.ru](mailto:rustem-59@mail.ru)

<sup>2</sup>Имомназаров Азизбек Ботирович - старший преподаватель, Каршинский инженерно-экономический институт, г. Карши Республика Узбекистан. Email: [elektrenergetika.qmii@gmail.com](mailto:elektrenergetika.qmii@gmail.com)  
<https://orcid.org/0000-0002-6738-8463>

<sup>3</sup>Бобокулов Завкиддин Аловиддин угли – студент, Каршинский инженерно-экономический институт, г. Карши, Республика Узбекистан. E-mail: [Zavqiddin20021009@gmail.com](mailto:Zavqiddin20021009@gmail.com)

**Аннотация:** В технологических процессах производства агропромышленного комплекса используются механизмы с поступательным движением рабочих органов. Для таких механизмов очень эффективны электроприводы с линейными асинхронными двигателями. Численный метод, основанный на подробных схемах замещения электрических и магнитных цепей асинхронного электродвигателя, позволяет наиболее полно учесть все их особенности. На математических и физических моделях исследованы тяговые и энергетические характеристики линейных асинхронных электродвигателей с различными схемами соединения индукторных обмоток, конструкциями вторичного элемента и режимами.

**Ключевые слова:** механизм; сохранение энергии; электропривод; линейный асинхронный двигатель; индуктор; второстепенный элемент; метод расчета.

**Abstract:** In the technological processes of the production of the agro-industrial complex, mechanisms with the translational movement of the working bodies are used. For such mechanisms, electric drives with linear asynchronous motors are very effective. A numerical method based on detailed equivalent circuits for electric and magnetic circuits of an asynchronous electric motor allows you to take into account all their features to the fullest extent. On mathematical and physical models, the traction and energy performance of linear asynchronous electric motors with different schemes for connecting the inductor windings, designs of the secondary element and modes have been studied.

**Keywords:** mechanism; energy saving; electric drive; linear asynchronous motor; inductor; secondary element; calculation method.

Агропромышленный комплекс (АПК) является одним из крупных потребителей электроэнергии. Поэтому точный учёт использованной электроэнергии, а также максимальная её экономия в различных отраслях АПК – важная задача современной науки. Основными работами, направленными на энергосбережение, являются: анализ структуры и объёма энергопотребления, выявление потерь энергии, установление причин их возникновения и определение путей их устранения или сокращения; разработка мероприятий по энергосбережению; внедрение энергосберегающих технологических процессов и оборудования; выполнение работ по прогнозированию спроса сельскохозяйственной продукции, требующей меньших затрат энергоресурсов; приведение расчётов норм производственных запасов топлива; сбор сведений по наличию местных и вторичных энергоресурсов и разработка предложений по их использованию; определение перечня энергоёмких машин и оборудования, подлежащих списанию как нерациональных; применение учёта расходуемых энергоресурсов на фермах, участках, на каждом рабочем месте; учёт перерасхода энергоресурсов, вызванного ненадлежащим качеством получаемого сырья, материалов и другой продукции, а также низким качеством производственной продукции; применение мер по устранению этих недостатков; изучение и внедрение передового опыта по осуществлению режима экономии энергоресурсов; проведение поощрений за экономию энергоресурсов, внедрение изобретений и рационализаторских предложений. На рис.1 приведена взаимосвязь некоторых основных отраслей АПК,

производств и используемого электрооборудования с разработкой мероприятий по сбережению электроэнергии. При этом существенную долю в используемой АПК электроэнергии составляют затраты, направленные на эксплуатацию электроприводов различных механизмов и машин [1].



Рис. 1. Взаимосвязь отраслей АПК и электрооборудования при разработке мероприятий по энергосбережению.

Потенциальная возможность снижения материало- и энергоёмкостей ряда электроприводов технологических машин и механизмов (на основании анализа их приводных характеристик: технологические, кинематические, энергетические, механические, нагрузочные, инерционные) при использовании линейных асинхронных электродвигателей (рис.2) обусловлена непосредственным преобразованием в них электрической энергии в различные виды и траектории движения (вращательное, поступательное, колебательное и др.) с практически более лучшими, чем электроприводы с механическими преобразователями, тяговыми, энергетическими и эргономическими показателями. Проводились работы по разработке линейного электропривода для различного технологического оборудования: платформенных кормораздатчиков, вибрационных смесителей, высоковольтного выключателя, исполнительных механизмов точного позиционирования [2-6,11,13].

Исследования проводились на математических и физических моделях. В соответствии с принятым численным методом расчёта электромагнитных процессов математическая модель асинхронного двигателя сводится к трём детализированным схемам замещения – первичной и вторичной электрическим и магнитным цепям [7,8,10,12]. Предусматриваются следующие допущения: поверхности магнитопроводов индуктора и вторичного элемента гладкие, зубчатость учитывается с помощью коэффициента Картера; зубцовые деления индуктора и вторичного элемента принимаются равными; боковые шины короткозамкнутой клетки вторичного элемента идеальны; электрическая проводимость сердечников индуктора и вторичного элемента, а также шунтирующих участков равно нулю; ширина сердечников индуктора и вторичного элемента равны.

Электрическая расчётная схема индуктора представлена на рис.3. Данной схеме замещения соответствует следующее уравнение в матричном виде

$$U = R^s \cdot I^\Phi + L^s \cdot DI^\Phi + K_e \cdot D\Phi, \tag{1}$$

где  $s$  – принадлежность статору (индуктору);  $U$  – матрица линейных напряжений;  $K_e$  – матрица приведения пазовых ЭДС к фазным;  $R^s$  и  $L^s$  – матрицы активных сопротивлений и индуктивностей фаз обмотки статора;  $\Phi$  – матрица пазовых магнитных потоков;  $D$  – символ дифференцирования.

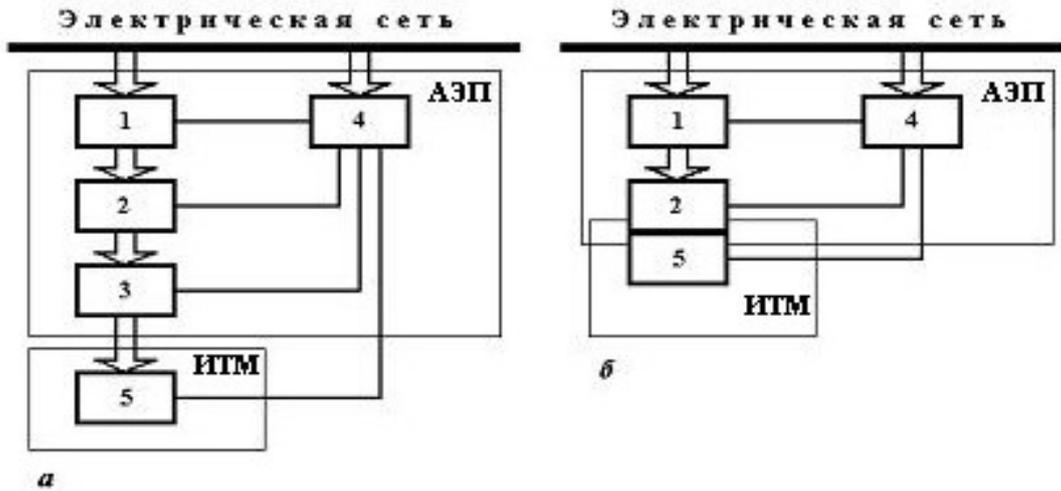


Рис. 2. Структурные схемы традиционного (а) и линейного асинхронного (б) автоматизированных электроприводов (АЭП): ИТМ – исполнительный технологический механизм; 1 – преобразовательное устройство; 2 – электромагнитный преобразователь; 3 – механический преобразователь; 4 – система управления; 5 – рабочий технологический орган.

Базовая схема замещения представлена на рис.4. В зависимости от положения ключа  $K$  по схеме можно производить расчёт двигателя с разомкнутым магнитопроводом [7,8,13]. Схемы замещения вторичной электрической (рис.5,а) и магнитной (рис.5,б) цепей рассматриваются как каскадное включение четырёхполюсников, каждый из которых соответствует зубцовому делению. Уравнение электрического состояния вторичного элемента в матричной форме записывается в следующем виде

$$R^c \cdot I^c + L^c \cdot DI^c + \frac{v}{2t_z} L^c \cdot I^c = -D\Phi - \frac{v}{2t_z} \Phi, \tag{2}$$

где  $t_z$  – зубцовое деление;  $v$  - линейная скорость перемещения вторичного элемента относительно поверхности индуктора.

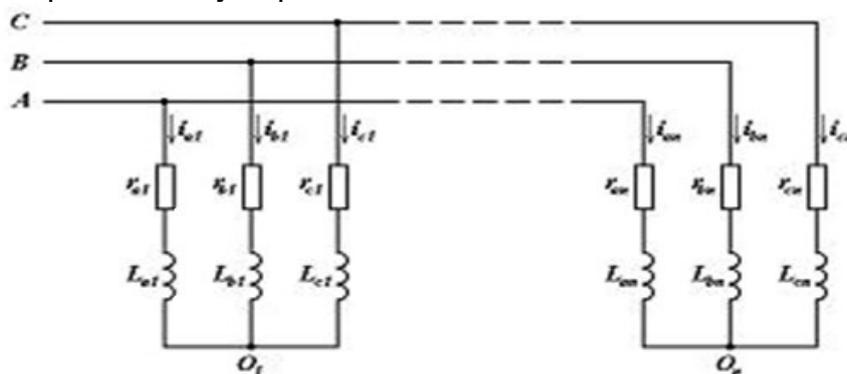


Рис. 3. Схема замещения электрической цепи индуктора.

На основании второго закона Кирхгофа для магнитных цепей запишем уравнение в матричной форме, описывающее участок магнитной схемы замещения

$$R \cdot \Phi = I^s + I^c, \tag{3}$$

где  $I^s$  и  $I^c$  – сила тока в обмотках индуктора и стержнях вторичного элемента (магнитодвижущие силы);  $R$  – матрица магнитных сопротивлений зубцов, участков ярем, воздушного зазора и пазового рассеяния;  $\Phi$  – контурные магнитные потоки.

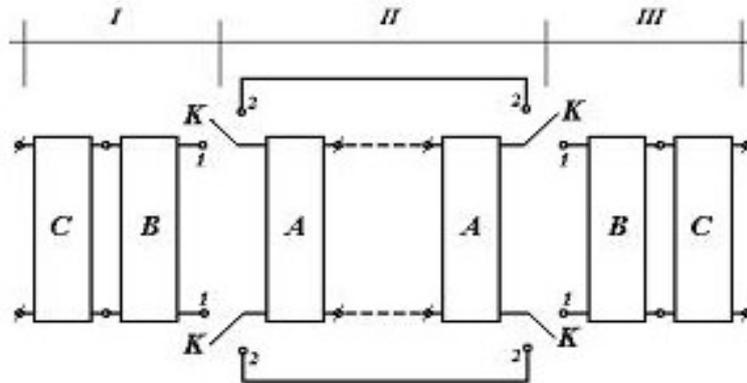


Рис. 4. Базовая схема замещения двигателя: I, III – зоны шунтирования; II – активная зона; ЛАД – замкнуты контакты 1; КраД – замкнуты контакты 2.

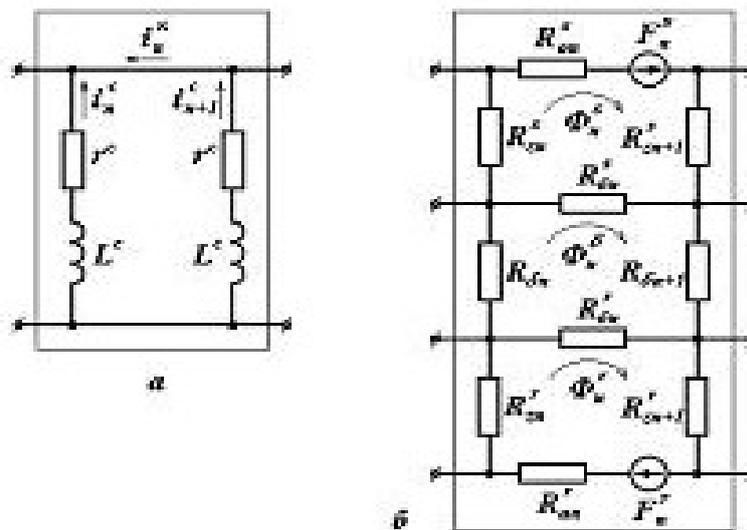


Рис. 5. Схемы замещения участков вторичной электрической (а) и магнитной (б) цепей.

В систему уравнений, описывающих электромагнитные процессы двигателя, необходимо включить уравнение движения

$$F + F_c = -M \cdot Ds, \tag{4}$$

где  $F$  – тяговое усилие, развиваемое двигателем;  $F_c$  – сила сопротивления;  $M$  – масса подвижной части;  $s$  – скольжение.

Таким образом, для математического моделирования линейного асинхронного двигателя необходимо совместное решение системы матричных уравнений (1)–(4).

С целью повышения энергетических и тяговых показателей линейных асинхронных двигателей (ЛАД), подтверждения правильности математической модели и теоретических исследований и определения технических показателей линейных асинхронных электроприводов технологического оборудования проводились эксперименты на физических моделях (на дугостаторных, цилиндрических и плоских линейных асинхронных двигателях с различными схемами соединения обмоток индуктора, конструктивными исполнениями вторичного элемента и режимах). Снимались характеристики холостого хода, короткого замыкания, рабочие, механические, распределение магнитных показателей в ярме, зубцах и

воздушном зазоре по длине индуктора ЛАД. По результатам численных и физических экспериментов можно судить о достаточном совпадении, которые приведены в [4-10].

### ЛИТЕРАТУРА

1. Юнусов Р.Ф. и др. Энергосбережение в производствах Агропромышленного комплекса. – В кн.: «Актуальные проблемы сельского и водного хозяйства». Материалы научно-произв. конф. 2005 г., 12-13 май, ТИИМ. – Ташкент, 2005, с. 300-303.
2. Yunusov R., Imomnazarov A. and other. Modelling of liner electro drive in the watergate of hydrotechnical constructions. International Conference «Applied Physics, Information and Engineering Technologies (APITECH-2019)» in September 25-27, 2019 Krasnoyarsk, Russia. Journal of Physics: Conference Series.
3. Yunusov R., Bayzakov T. and other. Linear electric actuator of a sectional plane shut-off of hydrotechnical structures. 1st International Conference on Energetics, Civil and Agricultural Engineering 2020 (ICECAE 2020). IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 614 (2020) 012017.
4. Yunusov R., Yusupov Sh., Imomnazarov A. and other. Simulation of linear asynchronous motors of electric drive of quiet mechanisms. International Conference «Construction Mechanics, Hydraulics and Water Resources Engineering» (CONMECHYDRO 2021).
5. А.С. 1434507 А1, МКИ<sup>4</sup> Н01Н33/42. Приводное устройство высоковольтного масляного выключателя / Пястолов А.А., Юнусов Р.Ф., Рамазанов И.Н. – № 4206059/24-07; Заявл. 04.01.87; Оpubл. 30.10.88; Б.И., № 40.
6. А.С. 1724386 А1, МКИ В07В1/40. Вибрационный решетный стан/ И.Д.Кабанов, В.В.Пахомов, Р.Ф.Юнусов, Ф.Н.Сарапулов и др. – № 4755887/03; Заявл. 16.08.89; Оpubл. 07.04.92; Б.И., № 13.
7. Юнусов Р.Ф., Абдуганиев А.А., Эркинов Р.Ш. Веб приложение для расчёта обмоточных данных статора асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором по известным геометрическим размерам магнитопроводов статора и ротора при отсутствии паспортных данных // Свидетельство об официальной регистрации программы для электронных-вычислительных машин. № DGU 06180/ 18.02.2019.
8. Веселовский О.Н., Коняев А.Ю., Сарапулов Ф.Н. Линейные асинхронные двигатели. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 256 с.
9. Файзиев, М.М., Курбанов, Н.А., Имомназаров, А.Б., Бекишев, А.Э. (2017). Моделирование пуска асинхронных двигателей в Matlab. *Вестник науки и образования*, 1(3 (27)), 42-47.
10. Саъдуллаев, А.Б., Бобоназаров, Б.А., Имомназаров, А.Б. (2020). «Шўртан» нефт ва газ казиб чиқариш бошқармаси электр тармоқларида энергия тежаш ва электр энергия исрофларини камайтириш масалалари. *Инновацион технологиялар*, (2 (38)), 27-31.
11. Файзиев, М.М., Имомназаров, А.Б., Ибрагимов, И.И. and Раджабов, М.К., 2022. СТАБИЛИЗАТОР ТОКА. *Наука, техника и образование*, (1 (84)), pp.38-42.
12. Саъдуллаев, А.Б., Умиров, А.П. and Бобакулов, Ф.А.У., 2019. Влияние концентрации нанокластеров примесных атомов марганца на параметры автоколебания тока. *European science*, (6 (48)), pp.6-10.
13. Саъдуллаев, А.Б. and Курбанов, Н.А., 2017. Влияние концентрации электроактивных атомов марганца на гальваномагнитные свойства кремния в условиях сильной компенсации. *Наука, техника и образование*, (3 (33)), pp.14-16