

УДК 621.313.333.2:338.312

UDC 621.313.333.2:338.312

05.00.00 Технические науки

Technical sciences

**ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА
БЕЗРЕДУКТОРНЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ С
ЛИНЕЙНЫМИ АСИНХРОННЫМИ ДВИГА-
ТЕЛЯМИ**

**TECHNICAL AND ECONOMIC ASSESSMENT
OF GEARLESS ELECTRIC DRIVES
WITH LINEAR INDUCTION MOTORS**

Осипов Ярослав Дмитриевич
к.т.н., доцент
ya.osipov@mail.ru
РИНЦ SPIN-код: 1094-5489

Osipov Yaroslav Dmitrievich
Cand.Tech.Sci., Associate Professor
ya.osipov@mail.ru
RSCI SPIN-code: 1094-5489

Эбингер Владимир Викторович
ассистент
v.ebinger@mail.ru
РИНЦ SPIN-код: 5947-9357

Ebinger Vladimir Viktorovich
assistant
v.ebinger@mail.ru
RSCI SPIN-code: 5947-9357

Кудакаева Елена Викторовна
магистрант
elena.kudakaeva.75@mail.ru
*Башкирский государственный аграрный универси-
тет, Уфа, Россия*

Kudakaeva Elena Viktorovna
Undergraduate
elena.kudakaeva.75@mail.ru
Bashkir State Agrarian University, Ufa, Russia

Рауш Владимир Викторович
vvraush@mail.ru
Уфимский юридический институт МВД РФ

Raush Vladimir Viktorovich
vvraush@mail.ru
*Ufa law Institute of the Ministry of the interior of Rus-
sia*

В статье рассмотрены вопросы применения безредукторных электроприводов с линейными асинхронными двигателями. Описаны конструкции двигателей, их особенности и принцип действия в электроприводах сложного колебательного движения, выполненных по системе преобразователь частоты – асинхронный двигатель, лишенного присущих редукторным электроприводам недостатков. Даны рекомендации в отношении выбора оптимального варианта привода рабочего органа технологической машины, который осуществляется на основе определения величины получаемого технико-экономического эффекта. Предложены методы технико-экономической оценки проектов: метод максимума экономического эффекта и метод минимума приведенных затрат, дана их оценка. На примере зерноочистительной машины Petkus K531A и вальцедековой машины СГР-400 произведено определение технико-экономического эффекта и дана экономическая оценка модернизации. Сделан вывод об обоснованности использования безредукторных электроприводов с ЛАД в технологическом оборудовании АПК за счет снижения энергоемкости технологических процессов по причине исключения редукторов и преобразователей вида движения; в ряде случаев наблюдается увеличение выхода конечного продукта за счет повышения эффективности технологического процесса; реализация сложного колебательного движения позволяет по-новому взглянуть на выполнение ряда технологических операций с разработкой новых

In the article we consider questions of use of gearless electric drives with the linear asynchronous engines. Constructions of engines, their features and the principle of action in the electric drives of difficult oscillating motion executed on system the frequency converter – the asynchronous engine, deprived of shortcomings inherent in geared electric drives are described. Recommendations for a choice of an optimal variant of the drive of a working organ of the technological machine which is carried out on the basis of determination of value of the gained technical and economic effect are made. Methods of technical and economic project evaluation are offered: a method of a maximum of economic effect and a method of a minimum of the given expenses, their assessment is given. On the example of the grain-cleaning machine Petkus K531A and the roller-deck machine SGR-400 determination of technical and economic effect is made and an economic assessment of upgrade is given. The conclusion is drawn on validity of use of gearless electric drives from linear asynchronous engines in a technology equipment of agrarian and industrial complex due to lowering of energy capacity of technological processes because of an exception of gears and transformers of a type of movement; in some cases increase in an output of the final product due to increase in efficiency of technological process is watched; implementation of difficult oscillating motion allows to look at execution of a row of technological operations with development of new technological machines in a new way

технологических машин

Ключевые слова: ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЬ, БЕЗРЕДУКТОРНЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД, ЛИНЕЙНЫЙ АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ, СЛОЖНОЕ КОЛЕБАТЕЛЬНО ДВИЖЕНИЕ, ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ, ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА

Keywords: ELECTROMOTOR, GEARLESS ELECTRIC DRIVE, THE LINEAR ASYNCHRONOUS MOTOR, DIFFICULT OSCILLATING MOTION, ENERGY EFFICIENCY, TECHNICAL AND ECONOMIC ASSESSMENT

Doi: 10.21515/1990-4665-123-059

При выполнении модернизации технологического оборудования, независимо от ее направленности и характера необходимо осуществить экономическое обоснование принимаемых решений, поскольку одним из важных критериев является экономическая эффективность соответствующих решений. Экономическое обоснование выполняется в форме бизнес-плана, являющегося основным системным документом реализации нового проекта, или технико-экономической оценки.

Технико-экономическая оценка (ТЭО) – это анализ, расчет, обоснование экономической целесообразности осуществления предлагаемого проекта, в данном случае – проекта модернизации технологических машин путем оснащения их безредукторным электроприводом с линейными электродвигателями (ЛАД). ТЭО основана на сопоставительной оценке затрат и результатов, установлении эффективности использования, срока окупаемости вложений.

Целью данной статьи является анализ методов технико-экономической оценки существующих приводов и безредукторных приводов с ЛАД. В качестве примеров рассматриваются модернизированные электроприводы зерноочистительной машины Petkus K531A и вальцедековой машины СГР-400.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

а) выделить достоинства и недостатки безредукторных электроприводов с ЛАД;

б) предложить способы технико-экономической оценки безредукторных электроприводов с линейными асинхронными двигателями;

в) провести анализ способов технико-экономической оценки безредукторных электроприводов с линейными асинхронными двигателями с учетом специфики конкретных технологических процессов.

Благодаря существенным достижениям в развитии силовой полупроводниковой и микропроцессорной техники и систем частотно-регулируемого электропривода переменного тока [1, 2], во многих областях промышленности наметилась тенденция перехода к безредукторному электроприводу, выполненному по системе преобразователь частоты – асинхронный двигатель, лишенному присущих редукторным электроприводам недостатков.

К основным преимуществам безредукторного электропривода, по сравнению с редукторным, относятся [3]:

- оптимальные массогабаритные показатели;
- энергоэффективность;
- исключение наиболее часто происходящих поломок оборудования (в редукторах);
- повышение качества (плавности) управления, в том числе расширение диапазона регулирования;
- меньший уровень шума и вибраций.

Одной из перспектив применения безредукторных электроприводов в АПК является модернизация технологических машин послеуборочной переработки продукции растениеводства с использованием ЛАД [4].

В настоящее время получают развитие безредукторные электроприводы с ЛАД, в том числе и линейные электроприводы сложного колебательного движения [5, 6].

Представление об устройстве линейного асинхронного двигателя можно получить, если развернуть статор асинхронного двигателя в плоскость. При этом вектор намагничивающих сил статора будет линейно перемещаться вдоль развертки статора, т.е. при этом образуется не вращающееся (как в обычных двигателях), а бегущее электромагнитное поле статора.

В качестве вторичного элемента может использоваться ферромагнитная полоса, располагаемая с небольшим воздушным зазором вдоль развертки статора (индуктора). Эта полоса играет роль короткозамкнутого ротора. Вторичный элемент увлекается движущимся полем индуктора и линейно перемещается со скоростью, меньшей скорости движения поля индуктора на величину линейного абсолютного скольжения.

Первичная обмотка асинхронного линейного электродвигателя возбуждает бегущее электромагнитное поле. В результате взаимодействия первичного поля и индуцируемых токов во вторичном элементе возникает тяговое усилие. Вторичный элемент прямолинейно перемещается. В линейных асинхронных электродвигателях имеют место ухудшающие характеристики краевые эффекты. Разомкнутость магнитной цепи в продольном направлении вызывает продольный краевой эффект. Увеличение числа полюсов индуктора снижает продольный краевой эффект. Наличие на краях вторичного элемента продольных составляющих токов, не создающих полезное тяговое усилие - поперечный краевой эффект. Увеличение ширины вторичного элемента снижает влияние поперечного краевого эффекта.

Линейная скорость бегущего электромагнитного поля будет определяться по формуле:

$$V_0 = 3 \cdot \tau \cdot f_1, \quad (1)$$

где τ - полюсное деление - расстояние между соседними полюсами линейного асинхронного двигателя, м;

f_1 – частота сети, Гц.

Скорость вторичного элемента находится по следующей формуле:

$$V = V_0 \cdot (1 - s_d), \quad (2)$$

где s_d - относительное линейное скольжение.

При питании двигателя напряжением стандартной частоты получаемые скорости поля будут достаточно велики (более 3 м/с), что затрудняет использование этих двигателей для привода промышленных механизмов. Такие двигатели применяются для высокоскоростных транспортных механизмов. Для получения более низких скоростей движения и регулирования скорости линейного асинхронного двигателя его обмотки питают от преобразователя частоты.

Для увеличения электромагнитной связи между индуктором и вторичным элементом, последний размещают в прорезь между двумя статорами, либо конструкция двигателя выполняется в виде цилиндра (рисунок 1).

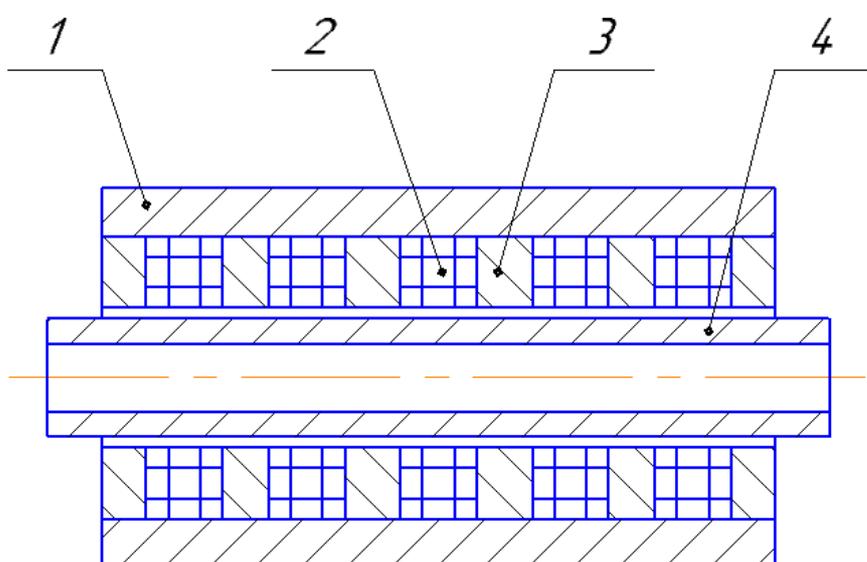


Рисунок 1 - Линейный двигатель цилиндрической конструкции:

- 1 – индуктор двигателя; 2 – цилиндрические наборные катушки;
- 3 – ферромагнитные шайбы; 4 – вторичный элемент (бегун).

В цилиндрическом ЛАД индуктор 1 двигателя представляет собой трубку, внутри которой расположены цилиндрические наборные катушки

(2), являющиеся обмоткой индуктора. Между катушками размещены ферромагнитные шайбы (3), являющиеся частью магнитопровода. Вторичный элемент 4 - шток трубчатой формы также выполнен из ферромагнитного материала.

Линейные асинхронные двигатели могут также иметь обращенную конструкцию, когда вторичный элемент неподвижен, а перемещается индуктор. Такие двигатели обычно применяются на транспортных средствах. В этом случае в качестве вторичного элемента используется рельс или специальная полоса, а статор размещается на подвижной тележке.

Недостатком линейных асинхронных двигателей является:

- низкий КПД;
- связанные с этим потери энергии, прежде всего, во вторичном элементе (потери скольжения).

Преобразование вращательного движения электродвигателей в поступательное движение рабочих органов технологических машин осуществляется посредством специальных кинематических звеньев: винт-гайка, шарико-винтовая передача, шестерня-зубчатая рейка, кривошипно-шатунная передача и другие.

Естественным для конструкторов рабочих машин является желание использовать для привода рабочих органов, совершающих поступательное и сложное колебательно движение, двигателей, вторичный элемент которых движется линейно [7].

Выбор оптимального варианта привода рабочего органа технологической машины осуществляется на основе определения величины получаемого технико-экономического эффекта [8]. Поэтому одной из первых задач, которую должен решить разработчик в процессе технико-экономического обоснования проекта, является выбор метода определения экономического эффекта. Предусматривается возможность использования нескольких методов:

- метод максимума экономического эффекта;
- метод минимума приведенных затрат.

Метод максимума экономического эффекта применяется в случаях:

- возможность стоимостной оценки полезных результатов;
- отсутствие данных о динамике результатов затрат по временным отрезкам расчетного периода;
- стабильность технико-экономических показателей по временным отрезкам за расчетный период.

Данный метод наиболее полно соответствует рассматриваемой ситуации: модернизация электропривода решетного стана зерноочистительной машины Petkus K531A с использованием плоского ЛАД.

Экономический эффект (\mathcal{E}_T) от применения рассматриваемой системы решетного стана зерноочистительной машины за расчетный период является определяющей характеристикой экономических показателей системы. Чем он больше, тем более экономически выгодна рассматриваемая система. Экономический эффект определяется в соответствии с зависимостью (3).

$$\mathcal{E}_T = \frac{P_T - \mathcal{Z}_T}{K_{pp} + E_n} \quad (3)$$

где P_T — неизменная по временному отрезку расчетного периода стоимостная оценка основных и сопутствующих результатов от использования системы решетного стана зерноочистительной машины;

\mathcal{Z}_T — неизменные по временному отрезку расчетного периода затраты на разработку, производство и использование системы решетного стана зерноочистительной машины;

K_{pp} — коэффициент реновации системы решетного стана зерноочистительной машины, исчисленный с учетом фактора времени в зависимости от срока их службы;

E_n — норматив эффективности капитальных вложений.

Коэффициент реновации системы решетного стана зерноочистительной машины определяется исходя из соотношения

$$k_{рп} = \frac{E_H}{(1+E_H)^{T_{сл}} - 1}, \quad (4)$$

где $T_{сл}$ — время службы системы.

Достоверность расчетов экономической эффективности новой техники в значительной мере зависит от правильности выбора для сравнения потенциально возможных вариантов решения поставленной задачи. Если в качестве сравниваемых вариантов выбраны устаревшие модели приборов и устройств, это может привести к тому, что будут признаны высокоэффективными системы низкого технического уровня и качества.

Поэтому первым этапом определения сравнительной экономической эффективности новых систем является:

- выбор потенциально возможных вариантов для сравнения;
- качественная оценка модернизированного электропривода технологической машины;
- анализ экономического эффекта от модернизации.

Были произведены расчеты энергоэффективности различных приводов. В результате проведенных экспериментов получены следующие данные: $\mathcal{E}_{э,1} = 0,93$ (для Petkus K531A) и $\mathcal{E}_{э,2} = 0,6$ (для экспериментальной установки), т. е. коэффициент энергетической эффективности $\mathcal{E}_{э}$ повысился на 33%. Воспользуемся этими данными при расчете технико-экономических показателей системы решетного стана зерноочистительной машины [9]. При расчете экономического эффекта воспользуемся зависимостью (1).

В соответствии с зависимостью 2 можно отметить, что знаменатель в зависимости 1 слабо зависит от выбираемой системы потому как надежные показатели, такие как срок службы очень близки по значению.

Во втором примере расчет проводится путем сравнительного анализа

проектируемого колебательно-вращательного электропривода (КВЭП) вальцедековой шелушильной машины и базового варианта, за который принята вальцедековая шелушильная машина СГР-400. Проведение сравнительного анализа осуществляется статистическим методом срока окупаемости инвестиций без учета дисконтирования.

Технико-экономические расчеты показали, что внедрение вальцедековой шелушильной машины с колебательно-вращательным электроприводом на предприятиях крупяного производства позволяет достичь годового экономического эффекта в размере 963407 руб. в ценах 2014 года. Срок окупаемости проекта составляет 0,7 года. Энергоемкость шелушения гречихи повысилась на 0,27 кВт*ч/т, а годовой экономический эффект достигнут за счет увеличения эффективности шелушения, и, как следствие, повышения выхода ядрицы гречихи в объеме 84,5 т [10].

Сущность метода минимума приведенных затрат заключается в определении суммарных затрат на проектирование, изготовление и эксплуатацию в течение всего времени эксплуатации оборудования. Эту величину можно определить исходя из зависимости

$$П=К+Т\cdot Э, \quad (6)$$

где $П$ – суммарные затраты,

$К$ – единовременные капитальные затраты связанные с покупкой, проектированием, изготовлением системы.;

$Т$ – период эксплуатации оборудования;

$Э$ – эксплуатационные затраты.

Недостатком данного метода является необходимость точных данных связанных со стоимостными и эксплуатационными показателями системы. Особое неудобство доставляют переменные во времени стоимостные показатели отдельных составляющих. К примеру, изменение стоимости оборудования на рынке, будет приводить к устареванию проведенных ранее расчётов.

К сожалению, информация в открытых литературных источниках, на основе которой было бы возможно провести оценку характеристик и стоимости изготовления безредукторных электроприводов с линейными асинхронными двигателями, крайне недостаточна.

Однако следует отметить, что рациональное использование безредукторных электроприводов с ЛАД в технологическом оборудовании АПК экономически обосновано за счет снижения энергоемкости технологических процессов по причине исключения редукторов и преобразователей вида движения; в ряде случаев наблюдается увеличение выхода конечного продукта за счет повышения эффективности технологического процесса; реализация сложного колебательного движения позволяет по-новому взглянуть на выполнение ряда технологических операций с разработкой новых технологических машин.

Библиографический список

1. Аипов Р.С. Основы силовой преобразовательной техники [Текст]: учебное пособие / Р.С. Аипов, А.К. Белкин, Е.И. Мухортова. – Уфа: Башкирский ГАУ, 2015. – 80 с.
2. Осипов, Я.Д. Бесконтактное управление колебательно-вращательным электроприводом вальцедековой машины для шелушения зерна с хрупким ядром / Я.Д. Осипов // Научное обеспечение развития АПК в современных условиях. Материалы Всероссийской научно – практической конференции. – Ижевск: ФГОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2011. – С. 146 – 149.
3. Аипов, Р.С. Линейные электрические машины и приводы на их основе / Р.С. Аипов. – Уфа: БГАУ, 2003. – 201 с.
4. Аипов, Р.С. Перспективы применения безредукторного асинхронного электропривода для процессов послеуборочной обработки зерна / Р.С. Аипов, Я.Д. Осипов // Известия Санкт – Петербургского государственного аграрного университета. – СПб – Пушкин, СПбГАУ, 2009. – № 16. – С. 152 – 157.
5. Линенко А.В. Линейные асинхронные электроприводы сложного колебательного движения для технологических машин АПК: учебное пособие / А.В. Линенко. – Уфа: Башкирский ГАУ, 2015. – 184 с.
6. Патент на изобретение № 2473391 Российской Федерации, М.Кл. В02С 18/26, А01F 29/02. Измельчитель листостебельных кормов / Аипов Р.С., Осипов Я.Д., Эбингер В.В. Оpubл. 27.01.2013 г. Бюл. №3.
7. Осипов Я.Д. Безредукторный электропривод с линейными электродвигателями для реализации сложного колебательного движения рабочего органа технологических машин / Я.Д. Осипов, В.В. Эбингер // Молодежная наука и АПК: проблемы и перспективы. Материалы III научно-практической конференции молодых ученых и аспирантов. – Уфа: ФГОУ ВПО Башкирский ГАУ. – 2009. с 105 –

108.

8. Водяников, В.Т. Экономическая оценка энергетики АПК/ В.Т. Водяников. Учебное пособие. - М: Экмос, 2002. - 304 с.

9. Линенко А.В. Энергетические показатели линейного электропривода решетного стана зерноочистительной машины / А.В. Линенко, С.В. Акчурин, М.Ф. Туктаров / Вестник Башкирского государственного аграрного университета. – 2013. - №1 (25). – 83-86 с.

10. Осипов Я.Д., Вальцедековая машина с колебательно-вращательным электроприводом повышенной эффективности шелушения зерна/ Я.Д. Осипов. Дис. канд. техн. наук. - Ижевск: 2012.- 130 с.

References

1. Aipov R.S. Osnovy silovoj preobrazovatel'noj tehniki [Tekst]: uchebnoe posobie / R.S. Aipov, A.K. Belkin, E.I. Muhortova. – Ufa: Bashkirskij GAU, 2015. – 80 s.

2. Osipov, Ja.D. Beskontaktnoe upravlenie kolebatel'no-vrashhatel'nym jelektroprivodom val'cedekovoj mashiny dlja shelushenija zerna s hrupkim jadrom / Ja.D. Osipov // Nauchnoe obespechenie razvitija APK v sovremennyh uslovijah. Materialy Vserossijskoj nauchno – praktičeskoj konferencii. – Izhevsk: FGOU VPO Izhevskaja GSHA, 2011. – S. 146 – 149.

3. Aipov, R.S. Linejnye jelektricheskie mashiny i privody na ih osnove / R.S. Aipov. – Ufa: BGAU, 2003. – 201 s.

4. Aipov, R.S. Perspektivy primenenija bezreduktornogo asinhronnogo jelektroprivoda dlja processov posleuboročnoj obrabotki zerna / R.S. Aipov, Ja.D. Osipov // Izvestija Sankt – Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – SPb – Pushkin, SPbGAU, 2009. – № 16. – S. 152 – 157.

5. Linenko A.V. Linejnye asinhronnye jelektroprivody slozhnogo kolebatel'nogo dvizhenija dlja tehnologičeskix mashin APK: uchebnoe posobie / A.V. Linenko. – Ufa: Bashkirskij GAU, 2015. – 184 s.

6. Patent na izobrenenie № 2473391 Rossijskoj Federacii, M.Kl. V02S 18/26, A01F 29/02. Izmel'čitel' listostebel'nyh kormov / Aipov R.S., Osipov Ja.D., Jebinger V.V. Opubl. 27.01.2013 g. Bjul. №3.

7. Osipov Ja.D. Bezreduktornyj jelektroprivod s linejnymi jelektrodvigateljami dlja realizacii slozhnogo kolebatel'nogo dvizhenija rabočego organa tehnologičeskix mashin / Ja.D. Osipov, V.V. Jebinger // Molodezhnaja nauka i APK: problemy i perspektivy. Materialy III nauchno-praktičeskoj konferencii molodyh učennyh i aspirantov. – Ufa: FGOU VPO Bashkirskij GAU. – 2009. s 105 – 108.

8. Vodjanikov, V.T. Jekonomičeskaja ocenka jenergetiki APK/ V.T. Vodjanikov. Uchebnoe posobie. - M: Jekmos, 2002. - 304 s.

9. Linenko A.V. Jenergetičeskie pokazateli linejnogo jelektroprivoda reshetnogo stana zernoočistitel'noj mashiny / A.V. Linenko, S.V. Akchurin, M.F. Tuktarov / Vestnik Bashkirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2013. - №1 (25). – 83-86 s.

10. Osipov Ja.D., Val'cedekovaja mashina s kolebatel'no-vrashhatel'nym jelektroprivodom povyšennoj jeffektivnosti shelushenija zerna/ Ja.D. Osipov. Dis. kand. tehn. nauk. - Izhevsk: 2012.- 130 s.