

УДК 621.313

DOI: [10.34031/ES.2025.3.10](https://doi.org/10.34031/ES.2025.3.10)

Секция молодых ученых

Электроэнергетика и электротехника

## СОВРЕМЕННЫЙ ЛИНЕЙНЫЙ ПРИВОД В ИННОВАЦИОННЫХ ДЕЛИТЕЛЬНО-ЗАКАТОЧНЫХ МАШИНАХ

**Кочетков Р.С.****Научный руководитель: Бабаевский А.Н.***БГТУ им. В.Г. Шухова, г. Белгород***Аннотация**

Данная статья рассматривает проблему производства, на которых зачастую используется оборудование прошлых лет, насчитывающее уже не один десяток. Многие компании не стараются производить замену своего оборудования в связи с рисками и опасениями, которые может понести компания в случае провала. На помощь таким предприятиям приходит наука и современный подход к получению благополучного результата вместе с повышением прибыли. Отсутствие современной комплектации и технологически нового оборудования не позволяет повысить эффективность работы имеющихся машин, а с ним и более высокое количество продукции. Электромагнитные помехи присуще чувствительной электронике сервопривода, приводя к нестабильному поведению или ложным срабатываниям. Износ подшипников, редукторов или других движущихся частей в большой механической схеме зачастую происходит в сервоприводах с более высоким шансом, из-за большого количества связующих элементов и их совместной работы, что приводит к вибрациям и снижению точности самой машины. Внезапное увеличение нагрузки может привести к перегрузке двигателя и срабатыванию защиты, так как в производстве нагрузка непостоянна и меняется в зависимости от производимой продукции.

**Ключевые слова:** производство, электрические машины, двигатели, технологии, замена, повышение эффективности.

## MODERN LINEAR DRIVE IN INNOVATIVE DIVIDING AND SEAMING MACHINES

**Roman Kochetkov****Scientific supervisor: Alexander Babaevsky***BSTU named after V.G. Shukhov, Belgorod***Annotation**

This article examines the problem of manufacturing, which often uses equipment from previous years, numbering more than a dozen. Many companies do not try to replace their equipment due to the risks and concerns that the company may incur in case of failure. Science and a modern approach to achieving successful results along with increased profits come to the aid of such enterprises. The lack of modern equipment and technologically new equipment does not allow to increase the efficiency of existing machines, and with it a higher number of products. Electromagnetic interference is inherent in the servo's sensitive electronics, leading to unstable behavior or false alarms. Wear of bearings, gearboxes or other moving parts in a large mechanical circuit often occurs in servos with a higher chance, due to the large number of connecting elements and their joint work, which leads to vibrations and a decrease in the accuracy of the machine itself. A sudden increase in load can lead to an overload of the motor and protection activation, since in production the load is unstable and varies depending on the products produced.

**Keywords:** production, electric machines, engines, technologies, replacement, efficiency improvement.



## Введение

Цель работы: повышения энергоэффективности электропривода делительно-закаточной машины, посредством улучшения конструкции делительно-закаточной машины и применением современных технологических составляющих.

Задачи:

- уменьшить механический износ привода;
- улучшить электромагнитную составляющую привода;
- повысить производительность привода.

## Материалы и методы

Объектом исследования выступает делительно-закаточная машина марки Г4-ДЗМ-02 – это оборудование для хлебопекарной промышленности, предназначенное для деления и формования тестовых заготовок. Машина состоит из механизма набивки теста, формующей головки с раскатывающими стаканами и скалками, ленточного транспортёра, приводного механизма, чугунной станины и узла электроблокировки. На основе изучения и совершенствования этой машины будут излагаться необходимые методики и проводиться качественно-оценочная работа. Выбор линейного привода был основан на множестве факторов, к примеру которых можно отнести прямолинейное (линейное) движение по определенной траектории, более простая система управления и настройки, высокая точность работы [1, 2].

Таблица 1

**Время службы компонентов привода, лет**

Компонент	Сервопривод	Компонент	Линейный привод
Статор и обмотки	15	Электродвигатель	20
Ротор и магниты/обмотки	13	Первичные элементы	17
Энкодер	5	Вторичные элементы	10
Средний срок до ремонта	11	Средний срок до ремонта	15,7

Таблица 2

**Сравнение стоимости ремонта привода, руб.**

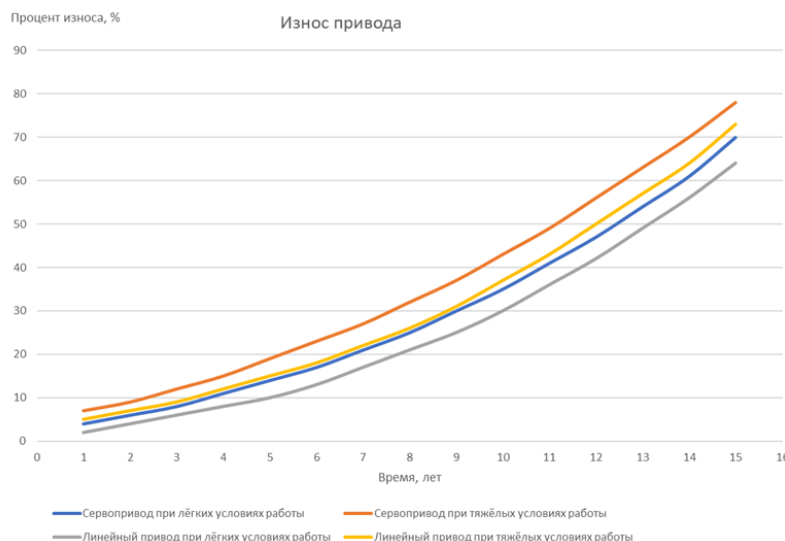
Компонент	Сервопривод	Компонент	Линейный привод
Статор и обмотки	6500	Электродвигатель	10 000
Ротор и магниты/обмотки	6500	Первичные элементы	4000
Энкодер	14 000	Вторичные элементы	4750
Общая цена ремонта	27 000	Общая цена ремонта	18 750

Срок службы механизмов представлены в табл. 1, стоимость ремонта – в табл. 2. Большинство производителей, таких как Siemens и Allen Bradley, проектируют подшипники серводвигателей на срок службы от 20 000 до 30 000 часов непрерывной работы. При использовании 8 часов в день это составляет примерно 7–10 лет.

Срок службы линейного привода в промышленном оборудовании или высоконагруженных применениях может составлять от 6 до 15 лет и более при надлежащем обслуживании.

Оценка износа привода представлена на рис. 1.





**Рис. 1. Процент износа привода в зависимости от срока службы**

К плюсам линейного привода можно так же отнести более высокую точность позиционирования и повторяемость движения, что обеспечивает лучшую подвижность и выполнения однотипных действий по сравнению с вращающимся сервоприводом. Линейный привод так же способен эффективно работать на высоких скоростях благодаря лучшему моменту перемещения. В то время как сервопривод требует сложной настройки обратной связи [3].

Из основных решений можно отметить линейные приводы на основе винтовой передачи. У них гораздо больше удерживающая сила, чем у реечной передачи. Иногда для замены некоторых типов привода прибегают к гидравлическим поршням, но это потребует больше интеграции в конструкцию [4].

Решение проблемы электромагнитной составляющей привода будет основываться на следующем. Ключевые электромагнитные компоненты сервопривода: статор и обмотки, по которым протекает электрический ток и создается управляемое магнитное поле; ротор и магниты/обмотки, ротор содержит либо постоянные магниты (в синхронных двигателях), либо обмотки (в асинхронных или коллекторных двигателях), которые взаимодействуют с полем статора; датчик положения (энкодер). Линейный привод представлен: электродвигатель, который через механические звенья преобразует вращательное движение в линейное; первичный элемент (аналог статора с обмотками) располагается вдоль пути движения, а вторичный элемент (например, ферромагнитная полоса или постоянные магниты) перемещается относительно него.

При надлежащем использовании, обслуживании и благоприятных условиях окружающей среды сервопривод переменного тока может прослужить от 10 до 20 лет. Электродвигатели в линейных приводах ломаются редко при условии соблюдения правил эксплуатации и технического обслуживания и способен прослужить в среднем от 20 лет.

Ротор, магниты и обмотки в качественном сервоприводе ломаются крайне редко при соблюдении условий эксплуатации. Эти компоненты являются частью самого двигателя и обычно имеют очень длительный срок службы. В среднем срок службы составляет 12-15 лет. Частота поломок "первичных элементов" (основных компонентов, таких как двигатель, механизм винт-гайка и подшипники) в линейном приводе так же крайне мала и имеет срок службы 17 и более лет.

Энкодеры являются одним из наиболее уязвимых компонентов сервосистем и на них приходится значительная часть отказов. Частота отказов их работы начинается с 5



лет службы. Вероятность поломок так называемых "вторичных элементов" в линейном приводе (к которым обычно относятся ходовой винт, гайка, подшипники, уплотнения, датчики и корпус) увеличивается к 10 лет при стандартной 8-и часовой работе [5].

Производительность сервопривода определяется совокупностью ключевых технических характеристик. Производительность линейного привода так же состоит из множества параметров.

К сервоприводу можно отнести следующее: максимальная скорость вращения об/мин; мощность (кВт); точность позиционирования; быстродействие; эффективность (КПД).

К линейному приводу относятся следующие параметры: скорость перемещения (м/с); создаваемое усилие (Н); точность и повторяемость; рабочий цикл; потребляемая мощность (кВт); ускорение и замедление.

Чтобы сравнить два типа привода достаточно будет при одной нагрузке оценить результат скорости и потребляемой мощности [6, 7]. За основу возьмём среднюю нагрузку за цикл на действующий сервопривод в 1050 Н и сравним с теоретическими расчётами линейного привода. При такой загруженности привод будет потреблять 2 кВт энергии. Воспользуемся формулой расчёта мощности:

$$P = F \cdot v; \quad (1)$$

где  $P$  – мощность, Вт;  $F$  – нагрузка, Н;  $v$  – скорость, м/с;

Отсюда найдём скорость:

$$v = P / F; \quad v = 2000 / 1050 = 1,9 \text{ м/с.}$$

Чтобы перевести скорость линейного привода в об/мин для сервопривода потребуется следующая формула:

$$v = (\pi \cdot D \cdot n) / 60; \quad (2)$$

где  $D$  – диаметр, м;  $n$  – обороты в минуту, об/мин.

Диаметр вращательной части используемый для в системе сервопривода равен 0,8 м. Отсюда находим скорость вращения:

$$n = (v \cdot 60) / (\pi \cdot D); \quad n = (1,9 \cdot 60) / (\pi \cdot 0,8) = 4538 \text{ об/мин/}$$

Заявленная скорость установленного привода 3000 об/мин.

## Результаты

На основе полученных данных можно заключить следующее. Износ линейного привода проходит через стадии: приработка, нормальная эксплуатация, ускоренный и критический износ:

- приработка: начальный этап (0,5-3% от общего ресурса);
- нормальная эксплуатация: самая продолжительная стадия (70-80% ресурса);
- ускоренный износ: постепенное ухудшение характеристик (10-15% ресурса);
- критический износ: финальная стадия (5-10% ресурса), после которой привод выходит из строя.

Линейный привод способен по времени выдержать более серьёзные условия работы на продолжительном сроке.

В электромагнитной составляющей линейный привод способен выделиться более дешёвой ремонтной составляющей и процентом поломок частей, на которые приходятся негативные результаты работы, где износ двигателя (30-40% поломок); износ винта или гайки (25-30% поломок).



Производительность линейного привода способна выдать более лучший результат при одинаковых условиях работы, а именно скорость работы в 1,5 раза по сравнению с сервоприводом.

### Выводы

При рассмотрении процесса работы делительно-закаточной машины, а также при изучении циклов её работы и инженерных условий эксплуатации, выполняемой настройки, ремонт и техническое обслуживание данного оборудования, можно заключить следующее.

Линейный привод превосходит установленный сервопривод в результатах механического износа при рассмотрении на длительном сроке службы.

Электромагнитная составляющая линейного привода более качественна и надёжна в связи с меньшим количеством элементов, которые взаимодействуют с электромагнитным фактором работы привода.

Эффективность производимой продукции способна возрасти или облегчиться на тех скоростных режимах, которые имеют повышенную составляющую оборотов привода.

### Библиографический список

1. Практика приводной техники. Сервоприводы. – Bruchsal: SEW-Eurodrive, 2006. – 141 с. URL: <https://www.deltronix.su/doc/11322853.pdf>
2. Технология линейных перемещений: Справочное руководство. – Schweinfurt: Bosch Rexroth AG, 2017. – 352 с.
3. Бурков А.Ф., Сериков А.В. Электромеханические преобразователи электроприводов. – М.: Лань, 2023. – 104 с.
4. Абдуллаев М., Маткасимов М.М., Каримжонов Д.Д. Применение линейных двигателей в электроприводах // Universum: технические науки. – 2020. – № 11(80). – С. 12-14. EDN: [PIGDOS](#)
5. Фролов Ю.М., Шелякин В.П. Электрический привод: краткий курс: учебник для академического бакалавриата. – М.: Юрайт, 2016. – 253 с.
6. Никитенко Г.В. Электропривод производственных механизмов. – СПб.: Лань, 2013. – 224 с.
7. Фурсов В.Б. Моделирование электропривода. – СПб.: Лань, 2019. – 220 с.

### Сведения об авторах

**Кочетков Роман Сергеевич**, кафедра электроэнергетики и автоматизации, БГТУ им. В.Г. Шухова, г. Белгород.

**Бабаевский Александр Николаевич**, доц., канд. техн. наук, кафедра электроэнергетики и автоматизации, БГТУ им. В.Г. Шухова, г. Белгород.

### About authors

**Roman Kochetkov**, Department of Electric Power Engineering and Automation, BSTU named after V.G. Shukhov, Belgorod.

**Alexander Babaevsky**, Cand. of Tech. Sciences (PhD), Associate Professor, Department of Electric Power Engineering and Automation, BSTU named after V.G. Shukhov, Belgorod.

### Ссылки для цитирования

Кочетков Р.С. Современный линейный привод в инновационных делительно-закаточных машинах // Энергетические системы. – 2025. – № 3. – С. 84-88.

Kochetkov, R. (2025). Modern linear drive in innovative dividing and seaming machines. *Energy Systems*, 3, 84-88. <https://doi.org/10.34031/es.2025.3.10>

