

**АМОΡФНЫЕ СПЛАВЫ В МАГНИТОПРОВОДАХ СИЛОВЫХ  
ТРАНСФОРМАТОРОВ ДЛЯ ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ  
ИНДУКЦИОННОЙ УСТАНОВКИ**

**AMORPHOUS ALLOYS OF MAGNETIC TRANSMITTERS OF  
POWER TRANSFORMERS FOR POWER SOURCE OF  
INDUCTION INSTALLATION**

Сиссе Альсени, Фризен В. Э.,  
Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург,  
alscisse@gmail.com

Cisse Alseny, Vasiliy E. Frisen,  
Ural Federal University, Ekaterinburg

**Аннотация:** В статье рассмотрены преимущества применения трансформаторов с магнитопроводами из аморфных сплавов, по сравнению с трансформаторами с традиционными магнитопроводами из электротехнических сталей. Приведены сведения о сравнении усредненных потерь холостого хода для силовых трансформаторов с магнитопроводом из трансформаторной стали и с магнитопроводом из аморфного сплава. Наиболее перспективный путь снижения затрат на производство и эксплуатацию распределительных трансформаторов – это применение магнитопроводов из аморфных (нанокристаллических) сплавов, при этом обеспечивается более чем пятикратное снижение потерь холостого хода трансформаторов по сравнению с традиционными магнитопроводами из электротехнической стали. Разработка новых высокоэффективных источников питания для электротехнологических установок с индукционным нагревом, необходимо использовать новые согласующие высокочастотные трансформаторы на базе магнитопроводов из аморфных сплавов.

**Abstract:** In the article are considered the advantages of using transformers with magnetic cores from amorphous alloys in comparison with transformers with conventional magnetic cores of electrotechnical steels. Provides information about the comparison of the average no-load losses for power transformers with magnetic core of transformer steel and a magnetic core made of amorphous alloy. The most promising way of reducing the cost production and operation of distribution transformers is the use of magnetic cores made of amorphous (nanocrystalline) alloys, this provides a more than fivefold reduction of losses of idling of transformers compared with traditional magnetic circuits of electrical steel. Development of new highly effective power supplies for electrotechnological installations with induction heating, it is necessary to use the new coordinating high-frequency transformers on the basis of magnetic conductors from amorphous alloys.

**Ключевые слова:** аморфный сплав, магнитопровод, трансформатор, электротехническая сталь, энергоэффективность, электротехнологические установки.

**Key words:** amorphous alloy, magnetic core, transformer, electrical steel, energy efficiency, electrotechnological installations.

Системы питания индукционных установок повышенной частоты используются специализированные силовые трансформаторы, используемые для понижения напряжения сети 6–10 кВ до уровня 850 В, обладающие значительными габаритами и массой. В то же время источник питания таких установок имеет в своем составе преобразователь частоты. Известно, что преобразование напряжения на повышенной частоте в силовых трансформаторах происходит с большей энергоэффективностью и меньших затратах материалов, однако требует применения специальных сталей для изготовления магнитопроводов.

Аморфный сплав – это определенный вид прецизионного сплава. Его отличительной характеристикой от сплавов кристаллической структуры, является целый комплекс физических и

химических свойств. Одним из основных отличий аморфного сплава от электротехнической стали – отсутствие периодичности в расположении атомов. Также эти сплавы отличаются от кристаллических сплавов большей устойчивостью к коррозии, они прочнее в несколько раз и обладают лучшей электромагнитной характеристикой [1, 2].

Особенностью нанокристаллических сплавов является их сверхмелко кристаллическая структура. Размер кристаллов (наночастицы) в этих сплавах составляет от 1 до 10 нм. Нанокристаллические и аморфные сплавы по своим свойствам во многом похожи. Во-первых, они имеют структурное сходство. Как известно, структура аморфных сплавов имеет ближний порядок, т.е. состоит из упорядоченных микрогруппировок атомов, размеры которых близки к размерам нанозёрен нанокристаллических сплавов. Во-вторых, это технология получения. В настоящее время наиболее распространённым методом получения наноструктуры является регулируемая кристаллизация из исходного аморфного состояния. Таким образом, «материнской» основой нанокристаллического сплава является сплав аморфный. Структура нанокристаллического сплава представляет собой двухфазную систему, одной из фаз которой являются нанокристаллы, а другой – остаточная аморфная матрица.

Нагрузочные потери в трансформаторах в зависимости от увеличения нагрузок вариативны, в то время как потери холостого хода имеют постоянную величину. Ключ к решению проблемы потери энергии – снижение потерь холостого хода [3].

По данным американской компании Metglas потери за год в силовых трансформаторах распределительных сетей, в которых используется магнитопровод из электротехнической стали, составляют около 8 % их закупочной стоимости. В таблице приведены усредненные потери холостого хода для силовых трансформаторов на номинальное напряжение 10 кВ и мощностью от 25 до 2500 кВА [4].

Как видно из таблицы, использование в магнитопроводах аморфных материалов, вместо традиционной трансформаторной стали позволяет сократить потери холостого хода в 4–5 раз [5].

Усредненные потери холостого хода для силовых трансформаторов

Мощность трех-фазного трансформатора 10 кВ	Усредненные потери ХХ, магнитопровод – трансформаторная сталь SiFe	Усредненные потери ХХ, магнитопровод – аморфный сплав	Сравнительное снижение потерь, %
25 кВА	100	28	72%
40 кВА	140	39	72%
63 кВА	180	50	72%
100 кВА	260	66	75%
250 кВА	520	150	71%
630 кВА	1000	280	77%
1000 кВА	1700	350	80%
1600 кВА	2100	490	77%
2500 кВА	2700	550	80%

Разработка новых источников питания для электротехнологических установок с индукционным нагревом, включающих согласующие трансформаторы с новыми современными магнитными материалами – аморфными или нанокристаллическими сплавами, создание компьютерных моделей, описывающих электромагнитные процессы в данных комплексах, разработка инженерной методики для достаточно точного расчета согласующих трансформаторов как элементов электротехнических комплексов с индукционным нагревом является актуальной научно-технической задачей.

Кроме снижения потерь в магнитопроводе из нанокристаллических сплавов также уменьшается значение тока намагничивания. В результате при снижении потерь холостого хода и снижении тока намагничивания в трансформаторах:

- 1) снижается температура трансформатора и увеличивается его срок службы;
- 2) в несколько раз снижаются затраты при передаче электроэнергии потребителю;
- 3) имеет место общее сокращение энергопотребления в энергетике страны; и как результат общее существенное снижение объема сжигания органического топлива для выработки электроэнергии и вредных выбросов в атмосферу [6–8].

## Выводы:

1. Произведенный анализ показал, что трансформаторы с магнитопроводами из аморфных сплавов более энергоэффективны, чем трансформаторы с традиционными магнитопроводами из электротехнических сталей.
2. Необходимо наращивать производство аморфных сплавов и осуществлять постепенный переход на применение их в магнитопроводах современных трансформаторов различного назначения.
3. Дальнейшее изучение свойств аморфных сплавов позволит определить целесообразность их применения не только в статических электромагнитных аппаратах, но и в электромагнитных системах электрических машин.
4. Для увеличения эффективности установок и расширения области применения последовательной компенсации необходимо применять согласующие трансформаторы с новыми магнитными материалами – аморфными или нанокристаллическими сплавами, имеющие высокие технико-экономические показатели, высокий КПД, малые потери, по сравнению с используемыми трансформаторами.

## Список использованных источников

1. Аморфные сплавы и экономия // Энергетика, оборудование, документация [Электронный ресурс]. URL: <http://forca.ru/stati/podstancii/ amorfnye-splavy-i-ekonomiya.html> (дата обращения 20.11.2017).
2. Печенкин В. И. Силовые «аморфные» трансформаторы. Будущее в настоящем // Электротехнический рынок. 2012. № 5–6 (47–48) [Электронный ресурс]. URL: <http://market.elec.ru/nomer/44/silovyeamorfnye-transformatory-budushee-v-nastoyo/> (дата обращения 20.11.2017).
3. Магнитопроводы из аморфных сплавов // Каталог продукции ОАО «Ашинский металлургический завод» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.amet.ru/buyers/product/amorf> (дата обращения 20.11.2017).
4. Энергосберегающие трансформаторы с магнитопроводами из аморфных сплавов // Энергосбережение в электроэнергетике и промышленности: материалы VI Международной конференции ТРАВЭК, Москва, 17–18 марта 2010 года. [Электронный ресурс]. URL: <http://ukrm.ru/content/view> (дата обращения 20.11.2017).
5. Трансформаторы с аморфным магнитопроводом // Энергетика, оборудование, документация. [Электронный ресурс]. URL:

<http://forca.ru/stati/podstancii/transformatory-s-amorfnyimmagnitoprovodom.html>  
(дата обращения 20.11.2017).

6. Энергосбережение в Европе: применение энергоэффективных распределительных трансформаторов // Энергосбережение. 2003. № 6. [Электронный ресурс]. URL: [https://www.abok.ru/for\\_spec/articles.php?nid=2281](https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=2281) (дата обращения 20.11.2017).

7. Горбунов А. С. Трансформаторно-индукторные модули для комплексных электротехнологических процессов с индукционным нагревом: автореферат дис. ... канд. техн. наук : 05.09.03 / Горбунов Антон Сергеевич; [Место защиты: Уфим. гос. авиац.-техн. ун-т]. Уфа, 2015. 16 с.

8. Хавроничев С. В., Сошинов А. Г., Галушак В. С., Копейкина Т. В. Современные тенденции применения аморфных сплавов в магнитопроводах силовых трансформаторов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 12-4. С. 607–610.

УДК 728.8:697.1

## **ВНЕДРЕНИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО ДОМА В ГОРОДЕ СЕВАСТОПОЛЕ**

## **INTRODUCTION OF ENERGY SAVING TECHNOLOGIES FOR CONSTRUCTION OF ENERGY EFFICIENT HOUSE IN SEVASTOPOL CITY**

Слободчиков Д. В., Рахимова Ю. И.

Самарский государственный технический университет, г. Самара  
[sldmvl96@yandex.ru](mailto:sldmvl96@yandex.ru)

Slobodchikov D. V., Rahimova J. I.  
Samara State Technical University, Russia

**Аннотация:** В работе предложен проект энергоэффективного дома, в городе Севастополь, горячее водоснабжение и электроснабжение которого осуществляется за счет использования энергии солнечной радиации. Рассчитаны требуемые размеры,