

Таким образом, использование Fe-Cr-Co по сравнению с викаллоем приводит к увеличению в несколько раз удельных потерь на гистерезис  $P_{Г0}$ , электромагнитной мощности при пуске  $P_3$  и пускового момента  $M_{П}$ . При этом время разбега  $t_p$  снижается.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Делекторский Б.А. Проектирование гироскопических электродвигателей / Б.А. Делекторский, Н.З. Мастяев, И.Н. Орлов; под ред. И.Н. Орлова. — Москва: Машиностроение, 1968. — 252 с.
2. Устюхин А.С., Вомпе Т.А., Миляев И.М., Зелевский В.А. Исследование магнитных гистерезисных свойств Fe-26Cr-16Co порошковых сплавов в зависимости от условий спекания и термообработки // Ученые записки ЗабГУ. Серия: Физика, математика, техника, технология. – 2015. – Ч. 135. – № 3. – С. 112–119.

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ МОДЕРНИЗАЦИЙ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА С ОБМОТКАМИ ИЗ АЛЮМИНИЯ

Елшибек Ануар Алтынбекулы

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Обеспечение жизнедеятельности трансформаторов при аварийных воздействиях, в частности, коротких замыканиях, остается важной научно-технической проблемой из-за повышения требований к надежности, экономичности, конкурентоспособности, а также из-за роста и перераспределения мощностей сетей, увеличения числа коротких замыканий. Также имеют место моральное и физическое старение парка трансформаторов, технические и экономические трудности обеспечения резерва и замены оборудования.

Актуальность темы: В объем капитального ремонта трансформаторов кроме работ, выполняемых при среднем ремонте, входят работы, связанные с разборкой активной части. Необходимость ее разборки может быть вызвана повреждением обмоток или магнитной системы, износом их изоляции. В первом случае обмотки полностью или частично заменяют новыми или восстанавливают старые.

Вместе с тем встает вопрос о необходимости замены медного провода алюминиевым, что обусловлено:

- дефицитом меди в связи с более быстрыми темпами развития электротехнической промышленности по сравнению с ростом добычи меди;
- снижением себестоимости алюминия, вызванным значительным увеличением объема производства и постоянно повышающейся стоимостью электроэнергии;
- снижением материалоемкости выпускаемых трансформаторов и электрических аппаратов, как указывалось выше, важная проблема электротехнической промышленности, никогда не теряющая своей актуальности [3].

Исследование возможностей модернизации силового трансформатора ТМ-100/6 при проектировании и поиск вариантов перехода на обмотки из алюминия в тех же габаритах магнитной системы.

Обеспечение дальнейшей эксплуатации трансформаторов после капитального ремонта возможно за счет полной замены медного провода обмоток трансформатора алюминиевым, когда заменяется только металл провода, но сохраняются: число витков

обмоток, материал и размеры изоляционных промежутков, а также все данные и размеры магнитной системы и системы охлаждения трансформатора.

Трансформатор *ТМ-100/6* является двухобмоточным трехфазным понижающим силовым масляным трансформатором промышленного назначения и предназначен для преобразования электроэнергии в сетях энергосистем и потребителей электроэнергии. Трансформатор был спроектирован с максимальным приближением к ГОСТ, по электротехническим параметрам не уступает аналогам.

**Таблица 1.** Спроектированный трансформатор с аналогичными трансформаторами выпускаемыми заводами изготовителями ТМ-100/6

Заводы Парамет.	Спроектированны й трансформатор	ООО «УралЭнерго»	ПЭО г. Королев	ООО «ЗУТ» г. Полевской
$S_n$ , кВА	100	100	100	100
ВН, кВ	6	6	6	6
НН, кВ	0,4	0,4	0,4	0,4
Укз, %	4,34	4,5	4,5	4,5
Ркз, Вт	1651	1300	1970	1970
Ихх, %	1,771	2,5	2,2	2,6
Схема соединения	У/Ун-0	У/Ун-0	У/Ун-0	У/Ун-0
Габариты, мм	800×500×1000	1050×560×119 5	1050×1285× 695	1090×770×1560
Масса, кг	795	770	750	730

В результате расчета трансформатора с обмотками из меди, получены следующие соотношения основных геометрических параметров магнитной системы, представленные в табл. 2 которые будут определяющими при поиске вариантов перехода на обмотки из алюминия.

**Таблица 2.** Соотношения основных геометрических параметров силового трансформатора ТМ-100/6

Диаметр стержня сердечника	$D = 0,14$ м
Осевой размер обмотки	$L_1=L_2= 0,342$ м
Число витков в обмотке	$\omega = 49$
Масса стали магнитной системы	$G_{ст,М} = G_{ст,А}$
Внешний диаметр обмотки	$D_2 = 0,27$ м
Длина стержней магнитной системы	$l_c=0,381$
Расстояние между осями стержней	$C=0,28$

В процессе исследования и расчетов было выявлено, что в нашем случае рациональная замена в силовом трансформаторе обмоток из меди на обмотки из алюминия в тех же габаритах магнитной системы с одинаковыми электротехническими параметрами, с одинаковой конструкцией, материалами и размерами изоляции рассчитанными при одном значении индукции возможна лишь при снижении номинальной мощности.

В результате проведенных исследований и расчетов силового трансформатора

ТМ-100/6 на обмотки из алюминия в тех же габаритах магнитной системы было найдено два возможных варианта. Первый вариант, когда обмотку НН выполняют из алюминиевой ленты снижение мощности, которой составила 15% и второй вариант, когда обмотка НН цилиндрическая двухслойная из прямоугольного провода мощность снизилась на 5%.

Для проведения сравнительного анализа при поиске оптимального варианта была построена сводная таблица.

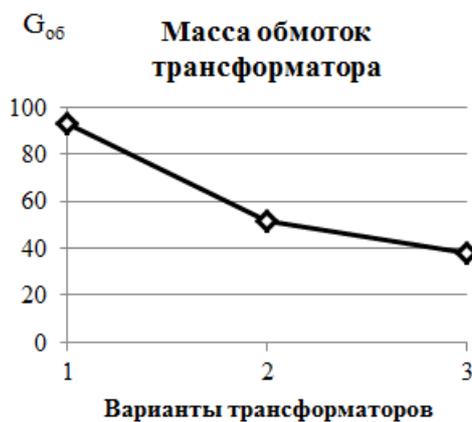
**Таблица 3.** Сводная таблица сравнительного анализа

Номинальная мощность трансформатора ТМ-100/6	$S_H=100$ кВА	$S_H=85$ кВА	$S_H=95$ кВА
Материал обмоток	Медь	Алюминий	Алюминий
Тип обмоток НН	Цилиндрическая двухслойная из прямоугольного провода	Алюминиевая лента	Цилиндрическая двухслойная из прямоугольного провода
$d_{cm}$ (м)	14	14	14
$\beta$	1,53	1,53	1,53
$C_{ac}$	402,63	328	340,611
$l_{об 1,2}$ (м)	0,342	0,342	0,342
$l_c$ (м)	0,381	0,381	0,381
$C$ (м)	0,280	0,280	0,280
$q_{нн}$ (Вт/м <sup>2</sup> )	321	578	359
$q_{вн}$ (Вт/м <sup>2</sup> )	509	427	595
$P_{осн1}$ (Вт)	635	870	709
$P_{осн2}$ (Вт)	1200	1114	1203
$P_{кз}$ (Вт)	1651	2018	1961
$U_{кз}$ (%)	4,344	4,654	4,538
$P_{xx}$ (Вт)	357	357	357
$i_{xx}$ (%)	1,771	1,771	1,771
$\eta$ (%)	98,03	97,64	97,70
$G_{cm}$ (кг)	270,2	270,2	270,2
$G_{об м,ал}$	93,26	51,85	37,85
$M/S_H$	3,63	3,78	3,24

Для наглядного сравнительного анализа при поиске оптимального варианта были построены графики (рис 1, 2, 3, 4).



**Рис. 1.** Стоимость активной части



**Рис. 2.** Масса обмоток трансформатора



**Рис. 3.** Удельная материалоемкость



**Рис. 4.** Коэффициент полезного действия

Анализ таблицы и графических зависимостей показал, что вариант трансформатора ТМ-95/6 с обмоткой НН цилиндрической двухслойной из прямоугольного провода показал существенное уменьшение массы обмоток, стоимости активной части трансформатора и удельной материалоемкости. При этом коэффициент полезного действия практически остался без изменений.

Таким образом, можно сделать следующие выводы, что в процессе проведения расчетов была получена возможность выбора оптимального варианта типа обмоток НН трансформатора и оценки ряда его параметров – масс активных материалов, стоимости активной части, параметров холостого хода и короткого замыкания при сохранении геометрии магнитной системы.

Несмотря на снижение номинальной мощности на 5 % для масляных силовых трансформаторов допускается длительная перегрузка по току любой обмотки на 5% от номинального тока ответвления, если напряжение на ответвлении не превышает номинального. Отсюда следует, что трансформатор ТМ 95/6 может работать при номинальной мощности на 100 кВА. Тем самым модернизация данного трансформатора проведена без снижения качества при эксплуатации.

В плане экономического анализа при сравнении медных обмоток с алюминиевой видно, что при одинаковой конструкции магнитной системы трансформатора стоимость ремонта будет намного дешевле и легче трансформатора с обмотками из

меди почти 2,5 раза с теми же показателями. И все же выбор, замены обмоток на медь или на алюминии нужно строго исходя из потребностей и возможностей заказчика.

Таким образом, модернизированный трансформатор ТМ-95/6 будет гораздо эффективнее аналога и следовательно, его эксплуатация возможна без снижения качества.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Тихомиров П. М. Расчет трансформатора – М.: Альянс, 2009.–528 с.
2. Фарбман С.А., Бун А.Ю., Райхлин И.М. – Ремонт и модернизация трансформаторов.
3. Котелец Н.Ф. Акимова Н.А., Антонов М.В. Испытания, эксплуатация и ремонт электрических машин – Издательский центр: "Академия", 2003.
4. Сапожников А.В. Конструирование трансформаторов. – изд. 2 М., Л.: Государственное энергетическое издательство, 2006

#### РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ УПАКОВОЧНОЙ МАШИНЫ

Древаль М.А.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Решение проблемы импортозамещения ставит необходимостью разработки современного оборудования для пищевых отечественного производства.

##### *Описание принятых технических решений*

С конвейера, где отливаются шоколадные конфеты посредством зигзагообразного транспортирующего укладчика, производится их перемещение на следующий конвейер, где они укладываются в одну линию и поступают на движущую ленту, равномерно выравниваясь.

Далее, каждая из конфет с помощью сервопривода переключается в ячейку ленты с разделительными лопатками. Над этой лентой синхронно перемещается упаковочная пленка с метками для датчика. В узле упаковки производится продольная сварка пленки, т.е. формируется непрерывный пакет. Одновременно, батончики перемещаются вперед, внутрь пакета, и проходят через позицию поперечной горизонтальной сварки, резки пакета (Рисунок 1).

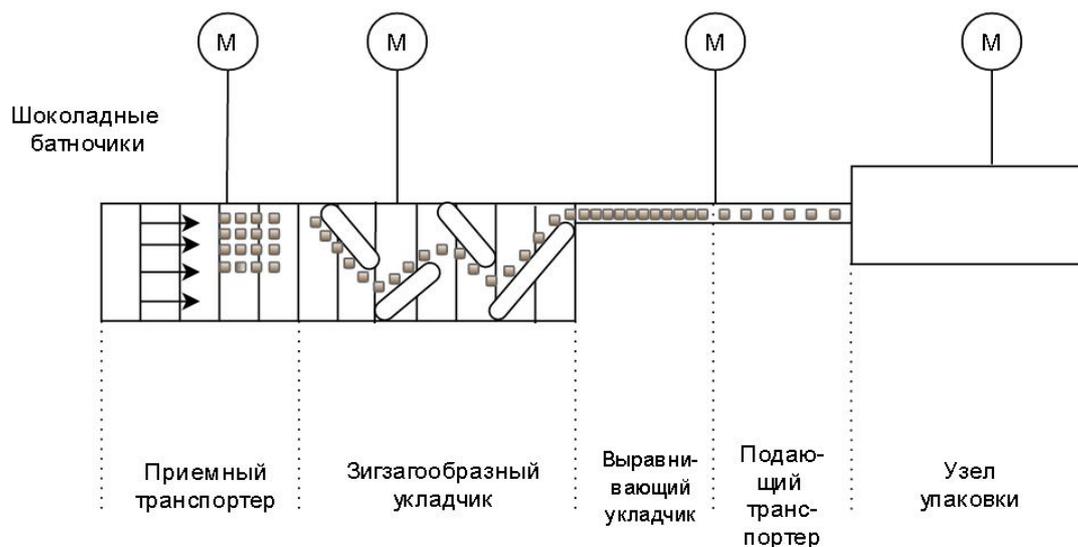


Рис. 1. Схема конвейера по упаковке шоколадных батончиков