

УДК 621.314.222.6

## ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Черниченко А.В., студент гр. ЭПб-161, III курс

Галинов Д.С., студент гр. ЭПб-161, III курс

Научный руководитель: Долгопол Т.Л., доцент

Кузбасский государственный технический университет  
г. Кемерово

С каждым годом во всем мире увеличивается потребность в электрической энергии. Это приводит к необходимости увеличения объемов генерации. Во многих странах увеличивающаяся потребность в электроэнергии покрывается за счет «зеленой энергетики»: солнечных и ветровых электростанций. В России использование возобновляемых источников энергии находится на низком уровне. И это связано не только с более высокой стоимостью киловатт-часа электроэнергии, выработанной на этих электростанциях по сравнению с традиционными способами выработки электрической энергии, но и тем, что строительство электростанций – это долгосрочный, трудоемкий и дорогостоящий проект.

Инвестиционные компании предпочитают и готовы вкладывать средства в традиционные способы получения энергии даже в тех регионах России, в которых климатические условия благоприятны для использования солнечной энергии и энергии ветра.

Структура выработки электроэнергии

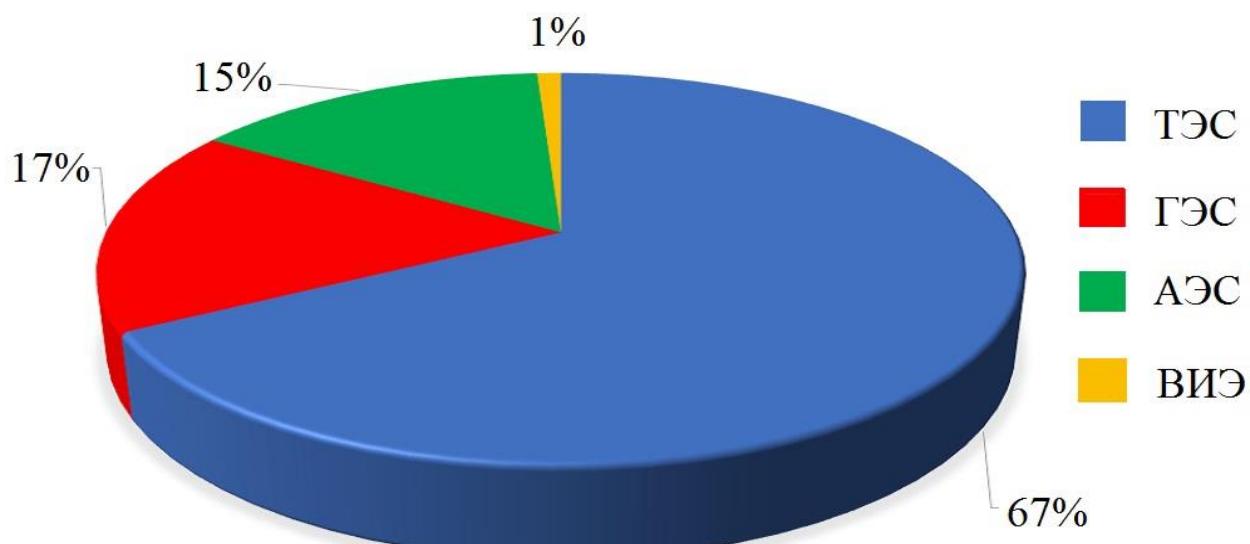


Рис.1. Распределение объемов производства электроэнергии в России

Как следует из диаграммы (рис.1), более 2/3 электроэнергии в России вырабатываются тепловыми электростанциями (ТЭС). Если продолжать наращивать объемы генерации за счет строительства новых ТЭС, то это приведет к увеличению вредных выбросов в атмосферу и к ухудшению экологической ситуации в отдельных регионах Российской Федерации. В табл. 1 приведена суточная концентрация вредных веществ, выбрасываемых в атмосферу от ТЭС, предельно допустимая их концентрация (ПДК) и радиус их распространения от места расположения дымовой трубы электростанции.

Таблица 1. Суточные концентрации выбросов в атмосферу ТЭС

Расстояние от трубы	Сернистый газ	Сероводород	Окислы азота	Окись углерода	Зола
1 км	6,02	0,002	1,95	7,2	1,2
3 км	1,47	0,008	1,30	16,0	3,4
5 км	1,22	0,008	0,05	13,3	1,2
7 км	1,12	0,03	1,3	13,0	2,4
15 км	0,22	0,002	0,03	4,0	0,27
ПДК	0,5	0,008	0,085	3,0	0,5

Но возможно снизить экологическую нагрузку на окружающую среду за счет снижения потерь электроэнергии на ее транспортировку от мест генерации к местам ее потребления. Суммарные потери в энергосистемах и системах электроснабжения потребителей составляют более 16 % от отпущенной в сеть с шин электростанций электроэнергии. Эти потери складываются из потерь в силовых трансформаторах и потерь в проводниках линий электропередач. Повышение энергоэффективности систем электроснабжения потребителей промышленного сектора и сферы ЖКХ освободит огромные объемы электрической энергии, которые не нужно будет вырабатывать на электростанциях.

Сосредоточенная генерация и большая территория Российской Федерации обуславливают необходимость в 5 – 7 трансформациях электрической энергии от мест ее генерации до потребления. Несмотря на высокий КПД силовых трансформаторов (97 – 98%), большое число трансформаций приводит к значительным суммарным потерям в силовых трансформаторах. На распределительные трансформаторы приходится 25 – 30% всех технических потерь в энергосистемах. В связи с этим, снижение потерь электроэнергии в трансформаторах, т.е. повышение их энергоэффективности весьма актуально.

Потери в силовых трансформаторах обусловлены процессами, происходящими в их магнитной системе – потери холостого хода, которые условно постоянны и не зависят от нагрузки, а также потерями в обмотках трансформатора – потери короткого замыкания (нагрузочные потери). Несмотря на то, что номинальные потери короткого замыкания значительно превышают потери холостого хода трансформатора, но в связи с изменением нагрузки в течение суток, а также в разные периоды года, весомость единицы потерь холостого хода ( $P_{хх}$ ) в 2–4 раза выше единицы потерь короткого замыкания ( $P_{кз}$ ).

Поэтому все новейшие технологии в трансформаторостроении, направленные на повышение энергоэффективности современных силовых трансформаторов, связаны со снижением потерь холостого хода. Так как потери холостого хода – это магнитные потери, состоящие из затрат электрической энергии на намагничивание и перемагничивание магнитопровода и потерь на вихревые токи, то возможно снизить эти потери за счет использования современных магнитных материалов с более высокими магнитными свойствами и уменьшить потери магнитного потока за счет совершенствования технологии изготовления магнитной системы трансформатора.

За рубежом уже почти два десятилетия выпускаются силовые трансформаторы с магнитной системой из аморфной стали. Начиная с 2012 года компания «Трансформер» приступил к выпуску аморфных трансформаторов. Нужно отметить, что политика данной компании всегда была направлена на выпуск энергоэффективных трансформаторов. В 2008 году была выпущена целая линейка трансформаторов с пониженными потерями за счет использования современного способа шихтовки «step lap». Потери холостого хода в стандартном масляном герметичном трансформаторе (ТМГ) мощностью 1000 кВА составляют 1600 Вт, с шихтовкой «step lap» – 1300 Вт. Таким образом за год работы экономия электроэнергии составит 2628 кВт·ч.

Использование аморфной стали снижает потери холостого хода трансформаторов на 70% по сравнению с магнитными потерями в холоднокатаной электротехнической стали, традиционно используемой для магнитопроводов. В проспектах заводов – изготовителей указывается, что срок окупаемости силовых трансформаторов из аморфной стали составляет 4 – 5 лет в зависимости от тарифа на электроэнергию.

Целью данной статьи является сравнение потерь холостого хода ( $\Delta P_{xx}$ ) силовых трансформаторов с сердечником из аморфной стали и традиционной холоднокатаной стали.

Таблица 1. Сравнение потерь холостого хода ( $\Delta P_{xx}$ ) в сердечниках из аморфной и из холоднокатаной стали

Мощность трансформатора, кВА	$\Delta P_{xx}$ для трансформаторов с сердечником, кВт	
	холоднокатаная сталь	аморфная сталь
25	100	28
40	140	39
63	180	50
100	260	66
250	520	150
630	1000	280
1000	1600	450
1600	2100	490
2500	2700	550



Рис. 1. Потери холостого хода в аморфной и холоднокатаной стали

Трансформатор с аморфным сердечником обеспечивает большую экономию электрической энергии, чем улучшение способа шихтовки магнитной системы из холоднокатаной стали. В частности, потери холостого хода аморфного трансформатора (АТМГ) мощностью 1000 кВА составляют 450 Вт. Таким образом, годовая экономия электроэнергии составит 10074 кВт·ч, что почти в 4 раза больше, чем для трансформатора ТМГ с улучшенными характеристиками. В денежном эквиваленте при тарифе 3 руб/кВт·ч экономия составит 30 000 руб. в год.

Несмотря на то, что трансформаторы с аморфными сердечниками являются наиболее энергоэффективными по сравнению со своими аналогами, существуют определенные трудности с расширением их номенклатуры.

Это связано с низкой механической прочностью аморфной стали, что требует пересмотра конструкции магнитной системы в отношении увеличения ее жесткости, а также перестройки технологического процесса, так как требуется специальное оборудование для изготовления сердечников из аморфной стали.

#### Список литературы:

1. Внешкольная экология. Сайт межрегионального общественного экологического движения [Электронный ресурс] / Электроэнергетика и экология. Электронные данные ; Исп. работы Кудрявцев Игнат ; Рук. работы Мишенина С.М., [Санкт-Петербург 2017] Режим доступа: <http://www.eco.nw.ru/lib/data/09/1/080109.htm>
2. Казаков, Ю.Б. Энергоэффективность работы электродвигателей и трансформаторов при конструктивных и режимных вариациях: учебное пособие для вузов / Ю.Б. Казаков. – М.: Издательский дом МЭИ, 2013. – 152 с.: ил.