

# Чтобы потерь стало меньше

На сегодняшний день в компании эксплуатируется 51 714 трансформаторных подстанций 6-35/0,4 кВ общей мощностью 11719,69 МВА, средний возраст которых превысил 30 лет (70% оборудования отработало свой нормативный срок).

Ренат КАРАМУТДИНОВ, начальник управления технического развития

Андрей МЕЩЕРЯКОВ, начальник отдела внедрения новой техники, технологий

## Что на что менять?

Необходима комплексная замена оборудования, отработавшего нормативный срок. Возникает вопрос: что на что менять? Менять на трансформаторы, которые изготавливаются по технологиям середины 70-х годов, или устанавливать новые энергосберегающие агрегаты, отвечающие мировым стандартам? Очевидно, что без применения инновационного подхода к реализации программы реновации распределительного электросетевого комплекса мы никогда не выполним Указ Президента РФ по сокращению энергоёмкости на 40% к 2020 году.

Потери в распределительном электросетевом комплексе достигают 8–9%. Если учесть, что в среднем наша компания передает 100 млрд кВт/ч в год, то получается 8–9 млрд кВт/ч.

Одним из основных видов технических потерь являются потери в силовых трансформаторах (потери короткого замыкания и холостого хода).

ОАО «МРСК Сибири» провело сравнительный анализ технических характеристик силовых трансформаторов 10/0,4 кВ мощностью от 100 до 1000 кВА, выпускаемых основными российскими заводами и заводами стран ближнего зарубежья.

## Сравнительный анализ герметичных, силовых, масляных трансформаторов

Анализ выполнен на основе технической документации, каталогов, информационных материалов заводов-изготовителей. Расчет рейтинга выполнен по специальной оценочной программе.

Для анализа были выбраны заводы, выпускающие линейку трансформаторов от 100 кВА до 1000 кВА, применяемых в ОАО «МРСК Сибири», а также компания «АБС

Электро», выпускающая герметичные трансформаторы нового типа – с низким уровнем потерь, которые не применялись в ОАО «МРСК Сибири».

В этот список вошли следующие заводы-изготовители:

1. Минский электротехнический завод, Республика Беларусь, г. Минск.
2. «АЛЛТРАНС», г. Барнаул.
3. «Самараэлектрощит-ТМ», г. Самара.
4. Биробиджанский трансформаторный завод, г. Биробиджан.
5. «Укрэлектроаппарат», Украина, г. Запорожье.
6. «АБС ЭЛЕКТРО», г. Чебоксары.

Герметичные масляные трансформаторы сравнивались по следующим характеристикам:

1. Технические характеристики:
  - потери холостого хода, Вт;
  - потери короткого замыкания, Вт.
2. Габариты:
  - длина, мм;
  - ширина, мм;
  - высота, мм.
3. Масса трансформатора, кг.

В результате сравнительного анализа выявлено следующее:

1. По техническим характеристикам рейтинг заводов (начиная с лучших характеристик) выглядит следующим образом:

1. «АБС ЭЛЕКТРО».
2. «Самараэлектрощит-ТМ».
3. Минский электротехнический завод.
4. Биробиджанский трансформаторный завод.
5. «АЛЛТРАНС».
6. «Укрэлектроаппарат».

Результаты по суммарным потерям (XX, КЗ) трансформаторов приведены в таблицах 2, 3.



Потери в распределительном электросетевом комплексе достигают 8–9%. Если учесть, что в среднем наша компания передает 100 млрд кВт\*ч в год, то получается 8–9 млрд кВт\*ч.

Таблица 1. Количество ТП 6-35/0,4 кВ в ОАО «МРСК Сибири»

Наименование филиала ОАО «МРСК Сибири», ОАО «ТРК», ОАО «Тывазэнерго»	ТП 6-35/0,4 кВ	
	Кол-во, шт.	Руст, МВА
1	6	7
«Алтайэнерго»	11 075	1885,73
«Бурятэнерго»	4419	674,96
«Горно-Алтайские ЭС»	1240	177,10
«Красноярскэнерго»	9780	3052,57
«Кузбассэнерго-РЭС»	4457	1144,68
«Омскэнерго»	9472	2032,06
«Хакасэнерго»	2320	722,19
«Читаэнерго»	5885	1236,90
ОАО «МРСК Сибири»	48 648	10 926,19
ОАО «ТРК»	2232	614,85
ОАО «Тывазэнерго»	834	178,65
ОАО «МРСК Сибири» с учетом ОАО «ТРК», ОАО «Тывазэнерго»	51 714	11 719,69



**Таблица 2. Данные по потерям холостого хода трансформаторов**

S, кВА	Потери ХХ, Вт					
	Алтай	Минск	Самара	Биробиджан	Украина	АБС
100	270	270	290	280	305	145
160	440	410	410	400	410	210
250	540	560	550	550	550	300
400	770	800	830	760	830	430
630	1050	1100	940	1000	1050	600
1000	1600	1600	1250	1700	1550	770
Сумма	4670	4740	4270	4690	4695	2455

**Таблица 5. Данные по ширине трансформаторов**

S, кВА	Ширина, мм					
	Алтай	Минск	Самара	Биробиджан	Украина	АБС
100	705	700	762	595	645	836
160	760	800	768	690	800	898
250	1050	850	806	750	780	823
400	1050	900	886	766	950	852
630	1080	1150	886	862	1000	894
1000	1190	1200	1066	970	1105	1150
Сумма	5835	5600	5174	4633	5280	5453

**Таблица 3. Данные по потерям короткого замыкания трансформаторов**

S, кВА	Потери КЗ, Вт					
	Алтай	Минск	Самара	Биробиджан	Украина	АБС
100	1970	1970	1980	1950	1970	1250
160	2750	2600	2650	2600	2650	1700
250	3700	3700	3700	3500	3700	2350
400	5450	5500	5500	5500	5500	3250
630	7600	7600	7600	7600	7600	4600
1000	10500	10500	10800	10800	10800	7600
Сумма	31970	31870	32230	31950	32220	20750

**Таблица 6. Данные по высоте (вместе с вводами) трансформаторов**

S, кВА	Высота, мм					
	Алтай	Минск	Самара	Биробиджан	Украина	АБС
100	1230	1200	1015	1150	1020	1290
160	1250	1250	1136	1210	1280	1437
250	1400	1300	1157	1325	1305	1334
400	1500	1400	1235	1390	1405	1479
630	1640	1500	1418	1525	1485	1614
1000	1890	2000	1478	1910	1820	1800
Сумма	8910	8650	7439	8510	8315	8954

**Таблица 4. Данные по длине трансформаторов**

S, кВА	Длина, мм					
	Алтай	Минск	Самара	Биробиджан	Украина	АБС
100	851	950	993	950	940	773
160	980	1000	1072	995	1140	833
250	980	1050	1182	1195	1320	1191
400	1340	1300	1545	1252	1335	1224
630	1590	1550	1545	1580	1605	1293
1000	1840	1800	1865	1805	1795	1410
Сумма	7581	7650	8202	7777	8135	6724

**Таблица 7. Данные по массе трансформаторов**

S, кВА	Масса, кг					
	Алтай	Минск	Самара	Биробиджан	Украина	АБС
100	530	550	548	560	510	840
160	830	700	742	730	715	1207
250	950	950	982	1000	1005	1307
400	1310	1400	1294	1250	1250	1653
630	1950	2000	1308	1750	1772	2202
1000	3000	3000	2610	2655	2710	3500
Сумма	8570	8600	7484	7945	7962	10709

2. По габаритам трансформаторов рейтинг заводов выглядит следующим образом:

1. «АБС ЭЛЕКТРО».
2. «Самараэлектроцит-ТМ».
3. Биробиджанский трансформаторный завод.
4. «Укрэлектроаппарат».
5. «АЛЛТРАНС».
6. Минский электротехнический завод.

Результаты по суммарным размерам трансформаторов (длина, ширина, высота) приведены в таблицах 4, 5, 6.

3. По массе трансформаторов рейтинг заводов выглядит следующим образом:

1. «Самараэлектроцит-ТМ».
2. Биробиджанский трансформаторный завод.
3. «Укрэлектроаппарат».
4. Минский электротехнический завод.
5. «АЛЛТРАНС».
6. «АБС ЭЛЕКТРО».

Масса трансформаторов приведена в таблице 7.

Заключение: По суммарным техническим и массогабаритным показателям общий рейтинг заводов выглядит следующим образом:

1. «АБС ЭЛЕКТРО».
2. «Самараэлектроцит-ТМ».
3. Биробиджанский трансформаторный завод.
4. «Укрэлектроаппарат».
5. «АЛЛТРАНС».
6. Минский электротехнический завод.

По результатам анализа было выявлено, что силовые трансформаторы производства компании «АБС Электро» наиболее энергоэффективны в силу своих конструктивных особенностей (исполнение магнитопровода). Потери холостого хода и короткого замыкания у этих трансформаторов значительно



Одним из основных видов технических потерь являются потери в силовых трансформаторах (потери короткого замыкания и холостого хода)

меньше (приблизительно в два раза), чем у трансформаторов других производителей.

По своим массогабаритным показателям трансформаторы «АБС Электро» сопоставимы с трансформаторами других производителей.

Для окончательного заключения об использовании трансформаторов «АБС Электро» на электросетевых объектах ОАО «МРСК Сибири» необходимо провести их опытную эксплуатацию.

## ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ

К сожалению, в Российской Федерации до сих пор не приняты стандарты по классам энергоэффективности силового электрооборудования. Для объективного сравнения трансформаторов мы использовали британский стандарт BS EN 50464-1:2007 «Трансформаторы распределительные масляные трехфазные на частоту 50 Гц, мощностью от 50 кВА до 2500 кВА, наивысшего класса на-

Таблица 8. Классы энергоэффективности согласно британскому стандарту BS EN 50464-1:2007 «Трансформаторы распределительные масляные трехфазные на частоту 50 Гц, мощностью от 50 кВА до 2500 кВА, наивысшего класса напряжения для оборудования напряжением не выше 36 кВ»

Номинальная мощность трансформатора, кВА	Потери, Вт										Полное сопротивление (импеданс) короткого замыкания, %
	Класс E		Класс D		Класс C		Класс B		Класс A		
	P <sub>0</sub>	P <sub>k</sub>	P <sub>0</sub>	P <sub>k</sub>	P <sub>0</sub>	P <sub>k</sub>	P <sub>0</sub>	P <sub>k</sub>	P <sub>0</sub>	P <sub>k</sub>	
50	190	1580	145	1350	125	1100	110	875	90	750	4
100	320	2516	260	2150	210	1750	180	1475	145	1250	
160	460	3627	375	3100	300	2350	260	2000	210	1700	
250	650	4914	530	4200	425	3250	360	2750	300	2350	
315	770	5850	630	5000	520	3900	440	3250	360	2800	
400	930	7020	750	6000	610	4600	520	3850	430	3250	
500	1100	8424	830	7200	720	5500	610	4600	510	3900	6
630	1300	9828	1030	8400	860	6500	730	5400	600	4600	
630	1200	10179	940	8700	800	6750	680	5600	560	4800	
800	1400	12285	1150	10500	930	8400	800	7000	650	6000	
1000	1700	15210	1400	13000	1100	10500	940	9000	770	7600	
1250	2100	18720	1750	16000	1350	13500	1150	11000	950	9500	
1600	2600	23400	2200	20000	1700	17000	1450	14000	1200	12000	
2000	3100	30420	2700	26000	2100	21000	1800	18000	1450	15000	
2500	3500	37440	3200	32000	2500	26500	2150	22000	1750	13500	

пряжения для оборудования напряжением не выше 36 кВ».

Благодаря данному стандарту легко классифицировать выпускаемые трансформаторы по потерям холостого хода и короткого замыкания.

Данный документ распространяется на трансформаторы от 50 кВА до 2500 кВА, применяющиеся в трехфазных сетях распределения, при 50 Гц, для постоянного обслуживания на улице или в помещении, масляные, с естественным охлаждением, с двумя обмотками:

- первичная обмотка (высокое напряжение) с высочайшим напряжением для оборудования от 3,6 кВ до 36 кВ;
- вторичная обмотка (низкое напряжение) с высочайшим напряжением для оборудования до 1,1 кВ.

### ОЦЕНКА КАПИТАЛИЗАЦИИ

У трансформатора потери возникают из-за намагничивания сердечника (ненагрузочные потери  $P_0$  (холостого хода)) и из-за нагрева обмоток (нагрузочные потери  $P_k$  (короткого замыкания)).

Ненагрузочные потери постоянные, когда трансформатор находится под током, и рассчитаны примерно на 8760 ч/год. Они не зависят от нагрузки, в то время как нагрузочные потери относятся к квадрату тока ( $P_k \sim I^2$ ).

Сумма обеих потерь представляет собой потерю энергии, переведенной в тепло, которое рассеивается охладительной системой трансформатора.

Так как энергия имеет определенную стоимость, то, помимо затрат на приобретение трансформатора, важно учесть и финансовую составляющую потерь трансформатора за весь период его работы.

Диаграмма нагрузки, трансформаторные потери и стоимость энергии должны учитываться при выборе оптимальных значений нагрузочных и ненагрузочных потерь.

Указанные в таблицах потери отражают современную европейскую практику в этой области.

Конечно, эта оценка со временем может измениться и может отличаться в каждой стране и у каждого пользователя в зависимости от энергетической политики и от местных инвестиций. Поэтому трансформаторы можно заказывать со значениями нагрузочных и ненагрузочных потерь, которые отличаются от указанных в таблицах значений.

Сумма покупной стоимости и стоимости энергии (нагрузочных и ненагрузочных потерь) называется стоимостью капитализации и представляет важную часть инвестиции покупателя.



У трансформатора потери возникают из-за намагничивания сердечника и из-за нагрева обмоток

## К сожалению, в Российской Федерации до сих пор не приняты стандарты по классам энергоэффективности к силовому электрооборудованию.

Расчет стоимости потерь электроэнергии в процессе эксплуатации силового трансформатора (критерий энергоэффективности трансформатора) производится по формуле:

$$\Delta_i = T_i \times (P_{x.x.} \times ЦР_{x.x.} + \beta \times P_{k.z.} \times ЦР_{k.z.}), \text{ где:}$$

$\Delta_i$  – стоимость потерь электрической энергии в  $i$ -й период эксплуатации силового трансформатора, руб.;

$T_i$  – расчетный срок эксплуатации трансформатора в  $i$ -й период, часов;

$P_{x.x.}$  – потери холостого хода, кВт;

$P_{k.z.}$  – потери короткого замыкания, кВт;

$\beta$  – коэффициент загрузки трансформатора, равен отношению тока, протекающего через трансформатор, к его номинальному току;

$ЦР_{x.x.} = ЦР_{k.z.}$  – тариф на электроэнергию, руб. на кВт/час.

Приведем пример расчета капитализации стоимости трансформатора мощностью 630 кВА герметичного исполнения (стоимость трансформатора указана согласно ценам, предоставленным заводами-изготовителями по состоянию на 01.01.2011 года).

P.S. Авторы не ставили перед собой цель лоббирования того или иного производителя, а, наоборот, хотели обратить внимание на то, как потери влияют на стоимость капитализации оборудования в течение всего срока службы.

Таблица 9. Расчет капитализации стоимости трансформатора

Мощность трансформатора, кВА	Стоимость трансформатора, Ст, тыс.руб.	Тариф на потери А,В руб/кВт*ч.	Потери холостого хода $P_{x.x.}$ , кВт	Потери короткого замыкания $P_{k.z.}$ , кВт	Годовые потери, кВт*ч.	Затраты на потери в год, тыс. руб.	Затраты на покупку потерь за 5 лет, тыс. руб.	Затраты на покупку потерь за весь срок службы (30 лет) тыс. руб.	Капитализация трансформатора Сс, тыс.руб.
<b>АБС ЭЛЕКТРО</b>									
630,00	275,00	0,859	0,600	4,600	45552,00	39,13	195,65	1173,88	1448,88
<b>АЛТТРАНС</b>									
630,00	273,17	0,859	1,050	7,600	75774,00	65,09	325,45	1952,70	2225,87
<b>Минский</b>									
630,00	313,41	0,859	1,240	7,600	77438,40	66,52	332,60	1995,59	2308,99
<b>Самара</b>									
630,00	287,30	0,859	0,830	7,600	73846,80	63,43	317,17	1903,03	2190,33