



УДК 621.314.21

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

*М.Н. Ветлугин, misha.vetlugin@mail.ru, А.А. Казанцев, kazantzev@63.ru,
Л.М. Инаходова, inachodova@rambler.ru, Т.В. Макарова, t-v-mak@yandex.ru
ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», г. Самара*

Рассмотрены технико - экономические задачи применения более новой и эффективной конструкции силового трансформатора (СТ) для ввода в эксплуатацию, электроснабжения России. Главной задачей модернизации распределительных электрических сетей является повышение технико-экономической эффективности. Для реализации данной задачи уменьшение технологических потерь силовых трансформаторов более разумно. Определена величина полной цены каждого из приобретаемых трансформаторов, которая состоит из их закупочной цены и цены потерь энергии за период дальнейшей эксплуатации трансформатора. Были оценены сравнительные экономические показатели эксплуатации различных типов СТ. Выявлена необходимость замены распределительных трансформаторов на инновационное электрооборудование, которое должно обладать высокоэффективными характеристиками, и технологиями производства. Устанавливается надобность способов разрешения трудности замещения, и перехода моделей имеющихся силовых трансформаторов на обновленные конструкции.

Ключевые слова: трансформатор, применение, электроснабжение.

TECHNICAL AND ECONOMIC ANALYSIS OF THE USE OF MODERN DESIGNS OF POWER TRANSFORMERS

Vetlugin M.N., Kazantsev A.A., Inachodova L.M., Makarova T.V.
FSBEI of HE Samara State Technical University, Samara

The technical and economic problems of applying a newer and more efficient design of a power transformer (ST) for commissioning and power supply to Russia are considered. The main task of modernization of distribution electric networks is to increase technical and economic efficiency. To achieve this goal, reducing the technological losses of power transformers is more reasonable. The value of the total price of each of the purchased transformers is determined, which consists of their purchase price and the price of energy losses for the period of further operation of the transformer. Comparative economic indicators of the operation of various types of CT were evaluated. The need for replacing distribution transformers with innovative electrical equipment, which should have highly efficient characteristics, and production technologies, has been identified. The need for ways to resolve the difficulty of substitution, and the transition of models of existing power transformers to updated designs, is being established.

Key words: transformer, application, power supply.

Применение в отечественных сетях и системах электроснабжения (ЭССЭ) старых технологий трансформаторной техники, не обеспечивает новый уровень научно-технических решений и принципов современной электротехники, что затрудняет развитие научного развития в электроэнергетики. Это отображается на выполнении широко декларируемых предписаний об энергосбережении и энергоэффективности, как в использовании, так и с распределение и передачи электроэнергии [1].

Существующий вопрос уменьшения общих потерь электрической мощности, и энергии (ПЭМЭ) постоянно находился под пристальным вниманием научных исследований, разработки и моделирования новых электроустановок, можно отметить ее постоянную важность и потребность отыскания новых способов разрешения [2].



Главной задачей в сфере модернизации распределительных электрических сетей является повышение технико-экономической эффективности. Большая составляющая потерь относится к силовым трансформаторам 10(6)/0,4 кВ, следовательно, уменьшение их технологических потерь более разумно. Стало необходимым сосредоточиться на потребности вовлечения проектных эксплуатирующих организаций на вопросы предпочтения высокотехнологичных трансформаторов старым образцам.

Известно, что обобщённые потери мощности в электросетях напряжением 10 кВ и ниже, по различным регионам РФ, составляют от 11 до 27,5% [3]. Такие же результаты можно засвидетельствовать и в странах Евросоюза, где по определенным видам электроустановок, а в частности, в трансформаторах распределительных сетей, достигли оценки 17% от суммарного валового использования, а в некоторых случаях и превышали приведенные выше значения.

Таким образом, зарубежный и отечественный опыт говорит о необходимости дальнейшей интенсификации исследований и реализации применения эффективных с точки зрения снижения потерь режимных и организационных мероприятий. Обладая в этом направлении большими резервами, они при технически грамотном и квалифицированном использовании всегда давали и будут давать значительные положительные результаты в экономии потерь. Практически ни одно энергообъединение ни в нашей стране, ни за рубежом не может гарантировать, что его технико-экономический потенциал в этом направлении реализован полностью.

Только с применением инновационного электрооборудования возможно реализовать кардинальное снижение ПЭМЭ, которое должно обладать высокоэффективными характеристиками, и технологиями производства. Из большинства видов и конструкций этих электрических установок можно отметить управляемые источники реактивной мощности, ЛЭП, силовые трансформаторы и другое оборудование, задействовавшие в себе технологии высокотемпературной сверхпроводимости, примером служит, использование сердечников трансформаторов из инновационных аморфных сплавов (АМТ) и др.

Применение АМТ с технико-экономической точки зрения является одним из наиболее перспективных путей снижения ПЭМЭ. Об этом говорит опыт в использовании таких трансформаторов в США, Индии, Японии, Норвегии, Словакии и др. [4].

Сравнение стоимости эксплуатации.

Актуальный ответ можно получить, определив величину полной цены каждого из приобретаемых трансформаторов, которая состоит из их закупочной цены и цены потерь энергии за период дальнейшей эксплуатации трансформатора:

$$C_{\text{п}} = C + A_t,$$
$$A_t = \left[P_{\text{хх}} \cdot 8760 + P_{\text{кз}} \left(\frac{S_{\text{м}}}{S_{\text{н}}} \right)^2 \cdot \tau \right] \times \frac{c + c(1 + \Delta c)^{t-1}}{2}$$

где $C_{\text{п}}$ - полная цена трансформатора; C - закупочная цена трансформатора; A_t - цена потерь энергии в трансформаторе за t лет его использования; $P_{\text{хх}}$ - потери мощности холостого хода (ХХ), кВт; 8760 - количество часов в году; $P_{\text{кз}}$ - потери мощности короткого замыкания (КЗ), кВт; $S_{\text{м}}$ - максимальная нагрузка транс-



форматора, кВА; S_n - номинальная мощность трансформатора, кВА; x - время потерь, ч; c - цена одного кВт·ч за первый год использования; Δc - ежегодный относительный прирост цены одного кВт·ч; t - срок эксплуатации (обычно 25 лет).

Приняв ряд допущений, корректных для дальнейших сравнений полной цены трансформаторов, а именно $S_M = 0,7S_n$; $x = 1500$ часов; $\Delta c = 0,05$, имеем:

$$A_{25} = 53c \cdot (8760 P_{xx} + 750 P_{k3})$$

или:

$$\Delta A_{25} = 53c \cdot [8760 \cdot (P_{xx1} - P_{xx2}) + 750(P_{k31} - P_{k32})],$$

где ΔA_{25} - разница цены потерь энергии в сравниваемых трансформаторах за 25 лет эксплуатации; $(P_{xx1} - P_{xx2})$ - разница потерь XX; $(P_{k31} - P_{k32})$ - разница потерь КЗ.

Вычислив ΔA_{25} для предлагаемых к закупке трансформаторов и сравнив ее с разностью $C_2 - C_1$ покупатель сможет объективно оценить выгоду приобретения трансформатора лучшего качества, но дорогого, и убытки, которые его ожидают в процессе эксплуатации дешевого трансформатора [5].

К примеру, разница в закупочной цене трансформаторов 10/0,4 кВ ТМ-400/10 производства ГК Электроцит (г.Самара) и АТМГ-400/10 производства ГК Трансформер (г.Подольск) в России в рублях составляет порядка 60000 руб., а разница цены потерь ΔA_{25} - не менее 700000 руб., т. е. отношение ΔA_{25} к $C_2 - C_1$ находится в пределах 11-12. Для точных расчетов был выбран трансформатор традиционного ТМ-400/10 и трансформатор с магнитопроводом из аморфного сплава АТМГ-400/10 такой же мощности, паспортные данные приведены в табл. 1.

Таблица 1

Паспортные данные сравниваемых трансформаторов

	$S_{ном}$, кВА	ΔP_{xx} , Вт	ΔQ_{xx} , ВАр	ΔP_{k3} , Вт	I_{xx} , %	ΔU_{k3} , %
ТМ-400/10	400	830	5600	4400	1,6	4,5
АТМГ-400/10	400000	161	312	4457	0,078	3,6

Итоги расчетов по представленному методу показаны в табл. 2.

Таблица 2

Сравнение стоимости эксплуатации традиционного и «аморфного» трансформатора

	ТМ-400/10	АТМГ-400/10
C	196000	254800
At	1853940,582	827054,1393
P_{xx}	0,83	0,161
P_{k3}	4,4	4,457
S_M	280	280
S_n	400	400
τ	1500	1500
c	1,45	1,45
Δc	0,07	0,07
t	30	30
K_3	0,7	0,7



В этом примере разница цены потерь энергии в трансформаторах за 30 лет его применения получилась: $A_{t1} - A_{t2} = 1026886,443$ рублей, это 4 раза превышает цену этого трансформатора с аморфным магнитопроводом.

Исходя из технических подсчетов нагрузочных потерь, следует что их размер зависит от степени загрузки трансформатора относительно номинальной. Для нахождения экономического эффекта при эксплуатации трансформаторов с различными коэффициентами загрузки произвели подсчеты по эффективности и окупаемости эксплуатации традиционных и инновационных конструкций по годам, учитывая инфляцию, которая была принята равной 7%, итоги расчетов показаны в виде графиков на рисунках 1 - 4.

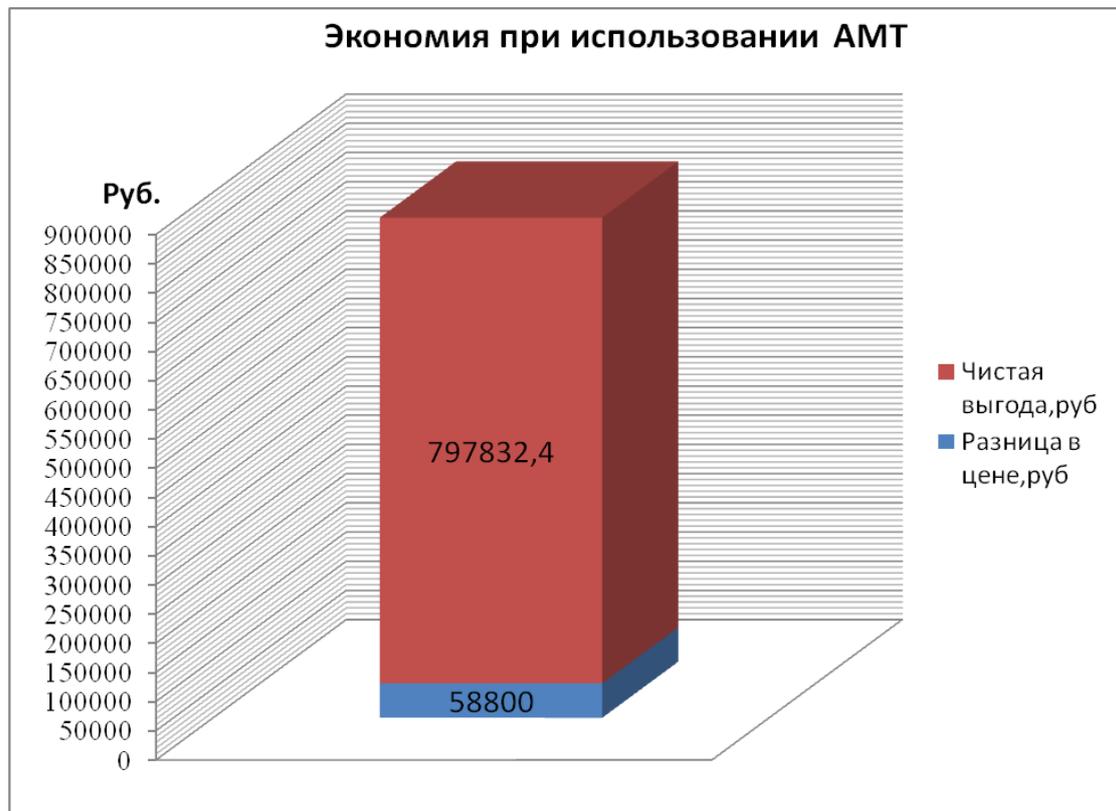


Рис. 1. Экономия при использовании «аморфного» трансформатора

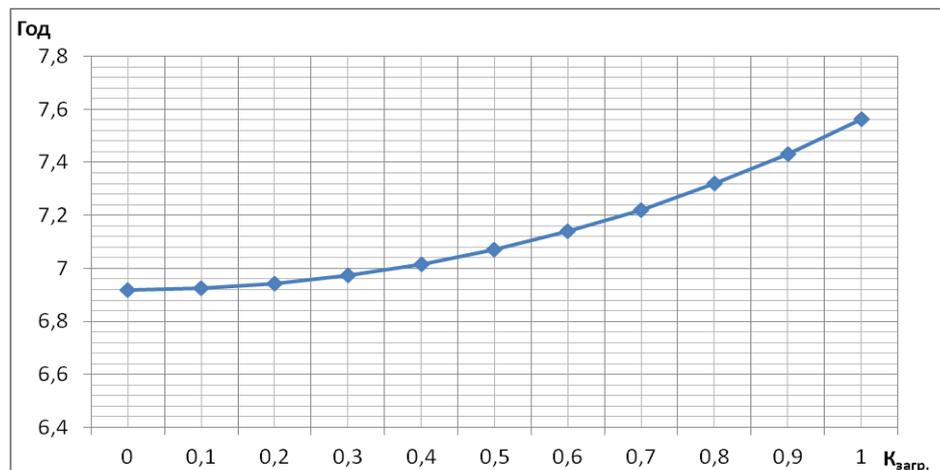


Рис. 2. Зависимость окупаемости от $K_{загр.}$

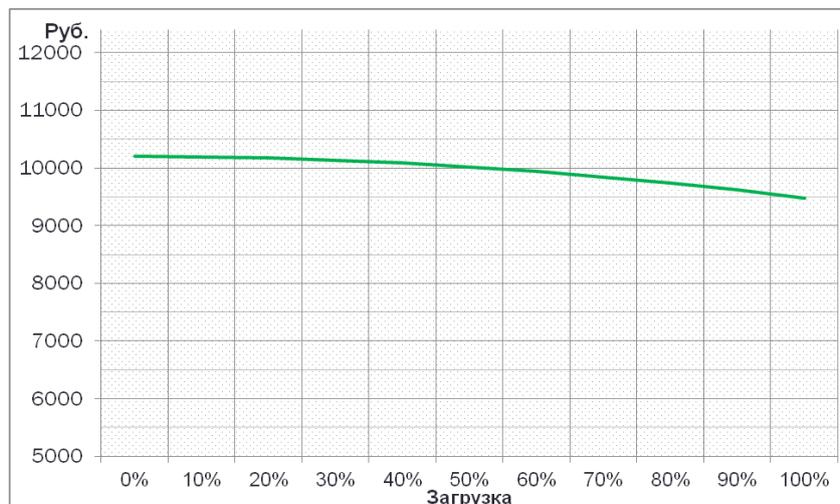


Рис. 3. Годовая выгода от использования АМТ.

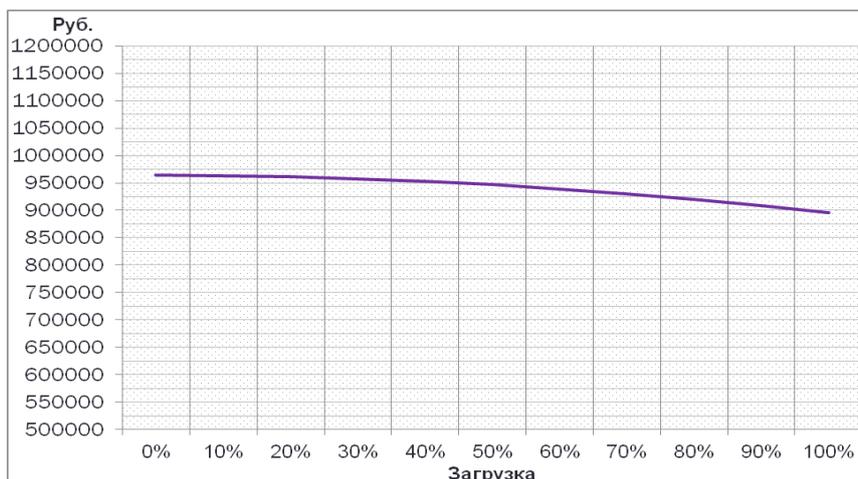


Рис. 4. Выгода от использования АМТ за жизненный цикл.

Как показано на рис. 2, рис. 3 и рис. 4 различия в экономической эффективности при различных коэффициентах загрузки трансформатора не большие.

А также был проведен подсчет чистого дисконтированного дохода NPV для трансформатора АТМГ-400/10, ставка дисконтирования взята - 7%, под доходом была рассмотрена годовая экономия от эксплуатации новой конструкции магнитопровода в сравнении с традиционной. Итоги показаны графиком на рис. 5, из которого понятно, что окупаемость разницы в стоимости традиционного и инновационного трансформаторов за счет экономии на потерях происходит уже на 6 году эксплуатации, а полной стоимости - на 15 году.

В сформировавшихся условиях отчетливо видна необходимость замены распределительных трансформаторов на инновационное электрооборудование, которое должно обладать высокоэффективными характеристиками, и технологиями производства. Т.е. оборудование, задействовавшие в себе технологии высокотемпературной сверхпроводимости, примером служит, использование сердечников трансформаторов из инновационных аморфных сплавов и др.

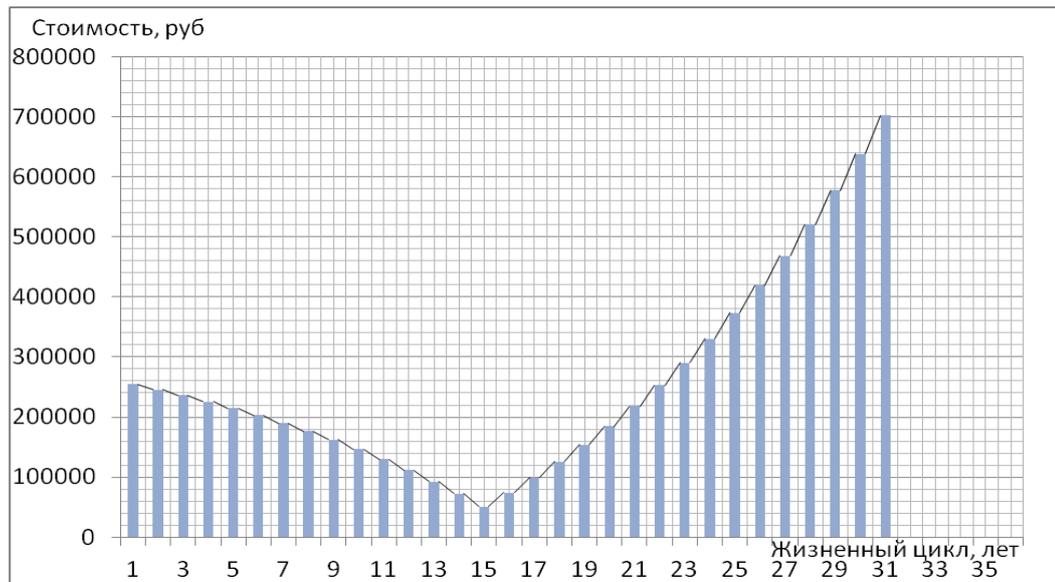


Рис. 5. Чистый дисконтированный доход.

В завершении расчета подводятся конечные итоги относительно определенной ситуации с заменой, из чего формируется нужный план-график. Разница в стоимости традиционного и инновационного трансформаторов за счет экономии на потерях окупается за период времени от 5 до 7 лет.

Список цитируемой литературы

1. Александров Н.В. Исследование влияния сверхпроводниковых трансформаторов на режимы электроэнергетических систем. Автореферат дис. канд. техн. наук по специальности 05.14.02. НГТУ. Новосибирск. 2014.
2. В.Э. Воротницкий Энергосбережение и повышение энергетической эффективности в электрических сетях. - М.: Интехэнерго-Издат, Теплоэнергетик, 2016 – 336с.
3. Гольдштейн В.Г., Инаходова Л.М., Казанцев А.А., Молочников Е.Н. Анализ эксплуатационных свойств трансформаторов с сердечниками из аморфных материалов и защита их с помощью нелинейных ограничителей перенапряжений. Вестник СамГТУ. Серия "Техн. науки". – Самара, №4 (40). 2013. С. 149-157.
4. Инаходова Л.М., Казанцев А.А. Сравнительный анализ технико-экономических показателей трансформаторов с различным исполнением сердечника // Актуальные научные вопросы современности. Материалы международной научно-практической конференции – Липецк., 2013. – С.19–21.
5. Кузнецов Д.В., Гольдштейн В.Г. Совершенствование концепции и методов организации энергоснабжения мегаполисов. // Промышленная энергетика 2014. №2.