

Таслимов Абдурахим Дехканович,
д.т.н., проф., ТГТУ, Ташкент
Taslimov Abdurakhim Dekhkanovich, TSTU

Самиев Шохрух Салим угли,
Ассистент, ТГТУ, Ташкент
Samiyev Shohrukh Salim ugli, TSTU

**РАЗРАБОТКА ОЦЕНОЧНЫХ МОДЕЛЕЙ ЗАТРАТ ТРАНСФОРМАТОРОВ,
ПРИМЕНЯЕМЫХ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ
DEVELOPMENT OF COST ESTIMATION MODELS FOR TRANSFORMERS USED
IN ELECTRICAL DISTRIBUTION NETWORKS**

Аннотация: Данная тема посвящена разработке оценочных моделей затрат для трансформаторов, применяемых в электрических распределительных сетях. Трансформаторы играют ключевую роль в передаче и распределении электроэнергии, и оптимизация их использования имеет стратегическое значение для эффективного функционирования электроэнергетической инфраструктуры. Исследование фокусируется на разработке моделей, способных точно и систематически оценивать затраты на трансформаторы. В работе проводится анализ различных типов трансформаторов, их технических характеристик, эффективности и стоимостных аспектов.

Abstract: This topic is devoted to the development of cost estimation models for transformers used in electrical distribution networks. Transformers play a key role in the transmission and distribution of electricity, and optimizing their use is of strategic importance for the efficient functioning of electricity infrastructure. The research focuses on developing models capable of accurately and systematically estimating transformer costs. The work analyzes various types of transformers, their technical characteristics, efficiency and cost aspects.

Ключевые слова: трансформаторы, электрические распределительные сети, затраты, оценочные модели, математическая модель, дисконт.

Keywords: transformers, electrical distribution networks, costs, evaluation models, mathematical model, discount.

Введение: Современная энергетика сталкивается с постоянно растущими вызовами в области эффективности, устойчивости и управления ресурсами. В рамках этого контекста ключевое значение приобретает разработка и оптимизация энергетических систем, особенно электрических распределительных сетей. Важным элементом в данной структуре являются трансформаторы, которые играют решающую роль в передаче и распределении электроэнергии. С целью эффективного управления энергетическими ресурсами и минимизации затрат на оборудование возникает потребность в разработке оценочных моделей затрат для трансформаторов, применяемых в электрических распределительных системах [1]. Эти модели должны учитывать различные аспекты, начиная от проектирования и производства до эксплуатации, с учетом технических характеристик, используемых материалов, производственных процессов, а также требований к надежности и соблюдения стандартов.

Цель данного исследования заключается в разработке таких оценочных моделей, которые позволят эффективно управлять затратами на трансформаторы, содействуя принятию обоснованных решений при выборе, проектировании и эксплуатации трансформаторов в контексте электрических распределительных систем. Полученные результаты могут выступить важным инструментом как для производителей электрооборудования, так и для энергетических компаний, стремящихся оптимизировать свои инвестиции в энергетическую инфраструктуру и повысить ее устойчивость. Для выбора варианта проектного решения необходимо использовать оценочные методы [2]. Достоинство



оценочных моделей в том, что они учитывают индивидуальные особенности проектируемой системы, учитывают требования надежности в ходе расчета каждого сравниваемого варианта. Оценочные модели позволяют для каждого из намеченных вариантов провести полный технико-экономический анализ. После такого анализа выбор наилучшего из отобранных вариантов не представляет больших трудностей.

Модель дисконтированных затрат трансформатора представляет собой методологию оценки и учета затрат на трансформатор в течение всего периода его жизненного цикла с учетом временной стоимости денег. Этот подход позволяет оценивать стоимость трансформатора, учитывая не только текущие затраты, но и их временное распределение в будущем [3].

Основные аспекты модели дисконтированных затрат трансформатора включают:

- **Определение времени службы трансформатора:** Модель учитывает прогнозируемый срок службы трансформатора, что включает в себя фазы проектирования, производства, эксплуатации и при необходимости, обслуживания или модернизации.
- **Оценка капитальных затрат:** Включает в себя издержки на проектирование, материалы, производство и установку трансформатора. Эти затраты дисконтируются для учета временной стоимости денег.
- **Расходы на эксплуатацию:** Включают операционные издержки, такие как затраты на энергопотребление, обслуживание и потери в эффективности трансформатора в течение его жизненного цикла.
- **Дисконтирование затрат:** Применение дисконтирования для приведения будущих затрат к их эквиваленту в текущем времени. Это учитывает временное значение денег и позволяет сравнивать затраты в разные моменты времени.
- **Оценка стоимости обслуживания и модернизации:** Включает в себя предполагаемые расходы на регулярное техническое обслуживание, а также возможные затраты на модернизацию или замену трансформатора в будущем.
- **Анализ чувствительности:** Модель может включать анализ чувствительности для оценки влияния изменений в ключевых параметрах, таких как ставка дисконтирования или срок службы трансформатора, на конечную стоимость.

Использование модели дисконтированных затрат позволяет принимать более обоснованные решения при планировании и инвестировании в трансформаторы, учитывая как текущие, так и будущие затраты с учетом временной стоимости денег [4].

Дисконтированные затраты на трансформаторы определяются по формуле (1). В диссертации предложено составляющие формулы (1) выразить с учетом привязки к параметрам трансформаторов и режимам их работы:

$$Z = K_t + \sum_{t=1}^{T_p} \frac{a_{абсл} \cdot K_t \cdot C_0 \left(\Delta P_{хх} \cdot T_{год} + \Delta P_{кз} \left(\frac{S}{S_{н.тр}} \right)^2 \cdot \tau \right)}{(1 + E)^t} \quad (1)$$

где T_p - расчетный период, принимается равным жизненному циклу проекта или другому временному отрезку в пределах жизненного цикла; t - шаг дисконтирования; $a_{абсл}$ - нормы отчисления на обслуживание и ремонт, %; K_t - капиталовложения по варианту схемы электроснабжения на шаге млн, сум.; C_0 - стоимость электроэнергии, сум/кВт·час; $\Delta P_{хх}$ - потери холостого хода трансформатора, Вт; $T_{год}$ - время работы трансформатора в году, ч, принимается $T_{год}=8760$; $\Delta P_{кз}$ - потери короткого замыкания трансформатора, Вт; E - норма дисконта или ставка сравнения, представляет собой минимально необходимую норму прибыли на капитал; S - мощность нагрузки, кВт; $S_{н.тр}$ - номинальная мощность трансформатора, кВА; τ - число часов максимальных потерь, ч.



Дисконтированные затраты на трансформаторные подстанции представляют собой кусочно гладкую функцию от расчетной мощности S , точки разрыва которой соответствуют переходу от трансформатора с меньшей к трансформатору с большей номинальной мощностью [5]. Приближенно эту функцию можно аппроксимировать линейной зависимостью

$$Z_{ТП} = b_{ТП} + c_{ТП} \cdot S \quad (2)$$

Для линейризации затрат на трансформаторные подстанции принимаются следующие допущения:

1. Шкала номинальных мощностей трансформатора непрерывна;
2. Капиталовложения в трансформаторную подстанцию пропорциональны номинальной мощности трансформаторов

$$K_{ТП} = d + e \cdot S_H \quad (3)$$

3. Потери мощности холостого хода и короткого замыкания одной серии пропорциональны номинальной мощности

$$\Delta P_{xx} = f + q \cdot S_H \quad (4)$$

$$\Delta P_{кз} = h + t \cdot S_H \quad (5)$$

4. Коэффициенты загрузки принимаются постоянными $K_3 = 0,65$.
5. Ток холостого хода I_{xx} и напряжение короткого замыкания U_k постоянны для всех трансформаторов типовой группы подстанций.

Коэффициенты d, e, f, q, h, t постоянны для каждой типовой группы подстанций и могут быть определены путем аппроксимации по методу наименьших квадратов.

При принятых допущениях формула дисконтированных затрат имеет следующий вид:

$$Z = d + e \cdot S + \sum_{t=1}^{T_p} \frac{a_{абсл} \cdot (d + e \cdot S) + C_0 \left[(f + q \cdot S) \cdot T + (f + q \cdot S) \cdot \left(\frac{S}{S_{н.мп}} \right)^2 \cdot \tau \right]}{(1 + E)^t} \quad (6)$$

Согласно формуле (2)

$$b = d + \sum_{t=1}^{T_p} \frac{a_{абсл} \cdot d + C_0 \cdot f \cdot T + C_0 \cdot h \cdot k^2 \cdot \tau}{(1 + E)^t} \quad (7)$$

$$c = e + \sum_{t=1}^{T_p} \frac{a_{абсл} \cdot e + C_0 \cdot q \cdot T + C_0 \cdot h \cdot k^2 \cdot \tau}{(1 + E)^t} \quad (8)$$

Используя полученные результаты расчета, строятся зависимости дисконтированных затрат от пропускаемой через трансформатор мощности [6]. На интервалах, где передача мощности возможна на нескольких трансформаторах, предпочтение отдается трансформатору с меньшими дисконтированными затратами.

Численные значения параметров при исследованиях были приняты следующие: норма дисконта $E = 0,12$, расчетный период $T_p = 5$ лет, стоимость электрической энергии согласно данным 2023 год. В качестве примера на рис. 1 приведена зависимость дисконтированных затрат от передаваемой мощности через трансформатор на напряжении 20 кВ [7]. Математические модели затрат на трансформаторы напряжением 10, 20 и 35 кВ представлены в табл. 1.



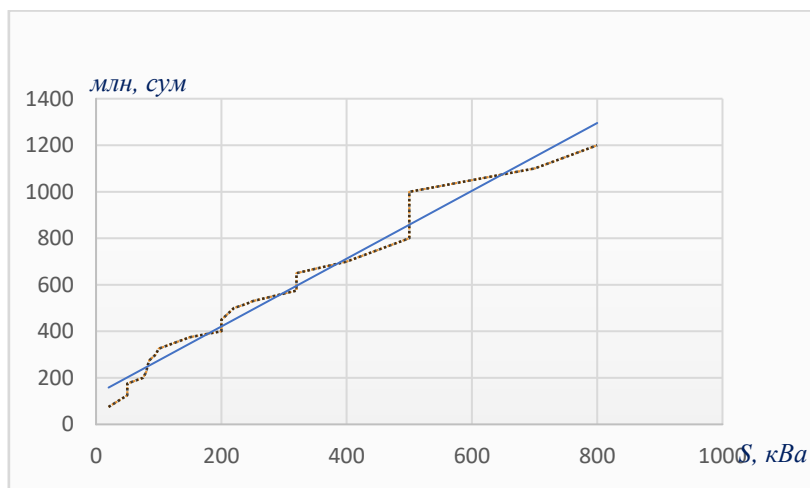


Рис.1. Зависимость дисконтированных затрат от передаваемой мощности через трансформатор на напряжении 20 кВ

Таблица 1

Математическая модель затрат на трансформаторы

U, кВ	Математическая модель дисконтированных затрат млн, сум.	R ²
10	$Z=1,65 \cdot S+7,48$	R ² = 0,994
20	$Z=1,99 \cdot S+12,34$	R ² = 0,991
35	$Z=2,29 \cdot S+17,49$	R ² = 0,989

Так же в были получены модели дисконтированных затрат на трансформаторные подстанции тупикового и блочного типа.

Результаты расчетов приведены в таблицах 2 - 3.

Таблица 2

Математическая модель затрат для ТП тупикового типа

U, кВ	Математическая модель дисконтированных затрат млн, сум.	R ²
10	$Z=2,13 \cdot S+12,6$	R ² = 0,968
20	$Z=2,79 \cdot S+14,03$	R ² = 0,971

Таблица 3

Математическая модель затрат для КТП блочного типа

U, кВ	Математическая модель дисконтированных затрат млн, сум.	R ²
10	$Z=5,78 \cdot S+76,48$	R ² = 0,955
20	$Z=6,12 \cdot S+82,07$	R ² = 0,93

Таким образом, анализируя полученные значения R², можно сделать вывод, что математические модели дисконтированных затрат максимально приближены к исходным данным.

Заключение: В итоге проведенного исследования по разработке оценочных моделей затрат на трансформаторы, применяемые в электрических распределительных системах, становится очевидным, что такие модели представляют собой важный инструмент для эффективного управления затратами в энергетической индустрии. На основе проведенного анализа можно выделить следующие ключевые аспекты и выводы: Разработка оценочных моделей требует комплексного подхода, учитывающего все этапы жизненного цикла трансформатора, начиная от проектирования и производства до эксплуатации и обслуживания. Модель дисконтированных затрат предоставляет возможность учесть временную стоимость денег, что существенно влияет на обоснованность решений при инвестировании в электрооборудование. Оценочные модели способствуют более точному



выявлению рисков и возможностей, позволяя принимать обоснованные решения по управлению затратами и инвестициями. Использование разработанных моделей способствует повышению экономической эффективности энергетических проектов, улучшая планирование и распределение ресурсов. Успешная интеграция технологических инноваций в оценочные модели может значительно влиять на снижение общих затрат и улучшение производительности трансформаторов. Разработанные оценочные модели затрат трансформаторов предоставляют ключевые инсайты для принятия стратегических решений в энергетической отрасли. Внедрение этих моделей может содействовать устойчивому развитию энергосистем, оптимизации затрат и повышению общей эффективности электрических распределительных систем.

Список литературы:

1. Таслимов А.Д. Развитие теории и методов выбора параметров городских распределительных электрических сетей в условиях неопределенности: Монография. Т.: ТашГТУ, 2020. 216 с.
2. Катренко Г.Н. Новые подходы к построению распределительных электрических сетей 0,4-35 кВ. Журнал «Электрические сети и системы», 2013. № 5. С. 25-29.
3. Ананичева С.С., Котова Е.Н. Проектирование электрических сетей: учеб. пособие / Екатеринбург: Изд-во «Урал», 2017. 164 с.
4. С.Жулев А.Н., Боков Г.С. Распределительный сетевой комплекс «Новости электротехники» №4 (76), 2012.
5. Зуев Э.Н. Определение экономической плотности тока на базе критерия минимума дисконтированных затрат// Вестник МЭИ.-2010.- №3.
6. Таслимов А.Д., Самиев Ш.С. Инновационные технические решения при проектировании распределительных электрических сетей, Журнал «Наука и образование сегодня» 2022. с. 7.
7. Маслов А.Н., Свистунов А.С. Проблемы и особенности построения распределительных сетей крупных городов и мегаполисов. Энергетик, 2001, №7, 152 с.

