



## АНАЛИЗ ПОТЕРЬ АКТИВНОЙ И РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ

**Товбаев Акрам Нурмонович** – д.т.н., и.о. профессора кафедры «Энергетика» Навоийского государственного горно-технологического университета.

**Аннотация.** В данной работе на основе статистического анализа показана целесообразность минимизации потерь реактивной энергии в условиях эксплуатации для повышения эффективности функционирования распределительных электрических сетей. Произведен анализ схемно-режимной ситуации и структурный анализ потерь реактивной энергии на примере распределительной электрической сети напряжением 6кВ. Выявлены очаги повышенных потерь активной и реактивной энергии. Рассмотрен эффект от минимизации потерь реактивной энергии для электрических сетей. Особенностью методов статистического анализа является их комплексность, обусловленная многообразием форм статистических закономерностей, а также сложностью процесса статистических исследований. Однако мы хотим поговорить именно о таких методах, которые может применять каждый, причем делать это эффективно и с удовольствием.

**Ключевые слова:** воздушные линии электропередачи, потери реактивной энергии, распределительная электрическая сеть, силовые трансформаторы, коэффициент реактивной мощности, структурный анализ.

**Annotation.** In this work, on the basis of statistical analysis, the expediency of minimizing reactive energy losses in operating conditions is shown to increase the efficiency of the functioning of distribution electric networks. The analysis of the circuit-mode situation and the structural analysis of reactive energy losses on the example of a 6kV distribution electric network is carried out. Foci of increased losses of active and reactive energy have been identified. The effect of minimizing reactive energy losses for electric networks is considered. The peculiarity of statistical analysis methods is their complexity, due to the variety of forms of statistical patterns, as well as the complexity of the statistical research process. However, we want to talk about exactly such methods that everyone can use, and do it effectively and with pleasure.

**Key words:** overhead power lines, reactive energy losses, electrical distribution network, power transformers, reactive power factor, structural analysis.

**Annatasiya.** Ushbu ishda statistik tahlil asosida ish sharoitida reaktiv energiya isroflarini kamaytirishning maqsadga muvofiqligi taqsimlovchi elektr tarmoqlarining ishlash samaradorligini oshirish uchun ko'rsatilgan. Sxemali rejimidagi holatlarini tahlil qilish va 6 kV taqsimlovchi elektr tarmog'i misolida reaktiv energiya isroflarini tarkibiy tahlili amalga oshiriladi. Aktiv va reaktiv energiya isroflarining ko'payishi nuqtalari aniqlandi. Elektr tarmoqlari uchun reaktiv energiya isroflarini kamaytirish ta'siri ko'rib chiqiladi. Statistik tahlil usullarining o'ziga xos xususiyati statistik qonuniyatlarning xilma-xilligi, shuningdek statistik tadqiqot jarayonining yig'indisi tufayli ularning murakkabligidir. Biroq, bunda foydalanishi mumkin bo'lgan

samarali va qoniqtiradigan darajada bajariladigan usullar haqida ma'lumot beriladi.

**Kalit so'zlar:** elektr uzatish liniyalari, reaktiv energiya isroflari, elektr taqsimlash tarmog'i, kuch transformatorlari, reaktiv quvvat koeffisienti, tarkibiy tahlil.

Потери реактивной электроэнергии в значительной мере влияют на режимы работы электрической сети, надежность и качество электроснабжения, однако их минимизацией при эксплуатации практически не занимаются. Одной из причин сложившейся ситуации является отсутствие устройства, показывающего целесообразность оптимизации их уровня. При передаче электроэнергии от источников к потребителям часть выработанной на электростанциях энергии расходуется в электрических сетях на нагрев проводников и магнитопроводов, создание электрических и магнитных полей и является необходимым технологическим расходом на ее передачу. Под потерями мощности следует понимать потери энергии за интервал времени, кратный периоду. Различают потери активной мощности и потери реактивной мощности. В виду объективных причин, под потерями энергии в дальнейшем следует понимать потери активной энергии. Все потери мощности в элементах электроэнергетической системы принято подразделять на три вида: Отчетная величина потерь электроэнергии в энергосистеме – разность между количеством электроэнергии, отпущенной в сеть (электрическими станциями, энергосистемами и т.д.) и величиной реализованной электроэнергии (сумма оплаченных счетов от потребителей).

Расчетная (техническая) величина потерь определяется по известным параметрам режимов работы сети и параметрам элементов сети (расход электроэнергии на нагрев и создание электромагнитных полей). Коммерческие потери – разность между отчетными и техническими потерями (несовершенство системы учета, неодновременность и неточность снятия показаний, погрешность приборов, хищения и т.д.). Структура потерь мощности и электроэнергии. Потери холостого хода, как в линиях, так и в трансформаторах не зависят от мощности нагрузки и определяются конструктивными особенностями этих элементов сети и напряжением. Под потерями холостого



хода понимают потери в поперечных элементах системы (проводимостях).

Удельные значения потерь мощности холостого хода для линий электропередачи и для трансформаторов приводятся в справочниках (смотри схемы замещения). В большинстве случаев для расчетов потерь электроэнергии и мощности потери холостого хода в линиях допускается не учитывать из-за малого значения этих величин.

Потери активной и реактивной мощности, а также потери в электрических сетях учитываются при эксплуатации электрических сетей.

Потеря активной мощности в линии:

$$\Delta P_{\text{л}} = \frac{P^2 + Q^2}{U_{\text{н}}^2} \cdot R \quad (1.1)$$

Потеря реактивной мощности в линии:

$$\Delta Q_{\text{л}} = \frac{P^2 + Q^2}{U_{\text{н}}^2} \cdot X \quad (1.2)$$

Потеря электроэнергии в линии:

$$\Delta A_{\text{л}} = \Delta P_{\text{л}} \cdot \tau \quad (1.3)$$

$\tau$  – Годовое максимальное время работы.

Потери холостого хода в трансформаторах и автотрансформаторах могут достигать существенных значений. Поэтому при расчетах потерь в трансформаторах и автотрансформаторах следует учитывать как потери в сопротивлениях обмоток (нагрузочные потери), так и потери в проводимостях (потери холостого хода). Допустимые длительные мощности для неизолированных сталеалюминиевых проводов марки АС с учетом поправочных коэффициентов на температуру окружающего воздуха (МВт).

Этот график представляет собой связь общей используемой активной мощности за определенный период времени. В этом случае считается, сколько энергии происходит впустую в течение периода времени используемой мощности. Мы можем увидеть потребляемую электроэнергию непосредственно, умножив потребляемую мощность на общее время. В этом случае имеющаяся электроэнергия в основном вырабатывается в разных сетях. Потери реактивной энергии приводят к возрастанию токовой нагрузки элементов сети, а, следовательно, увеличению потерь активной энергии, повышенному уровню потерь напряжения в узлах и в сети в целом. Это следует из законов электротехники.

На этом графике видно, что в основном в сетях низкого напряжения мы видим большие

потери, в сетях высокого напряжения потери несколько меньше. При синтезе цепей, удовлетворяющих жестким требованиям, из-за разброса параметров элементов возникает проблема определения их допусков.

Эта задача актуальна при анализе параметров цепей, при выборе подходящей эквивалентной схемы и оптимизации в процессе структурного (итерационного) синтеза, а также при синтезе систем автоматического управления и цепей с регулируемыми параметрами. Техническое перевооружение сельского хозяйства, внедрение высокотехнологичных процессов получения сельхозпродукции, рост обеспеченности сельского населения электробытовыми приборами требуют достаточного количества электрической энергии соответствующего качества одним из показателей качества электроэнергии, регламентируемых является отклонение напряжения, которое не должно превышать в нормальном режиме  $\pm 5\%$  (для освещения –  $2,5\%$ ), а в послеаварийном режиме  $\pm 10\%$ . При этом следует отметить, что как положительное, так и отрицательное отклонение напряжения сверх допустимого неблагоприятно влияет на электроприемник.

Предлагается следующий порядок анализа схемно-режимной ситуации:

1. В выделенных подсистемах по классам номинального напряжения определяется отклонение напряжения в узлах и проводится его анализ на соответствие допустимым параметрам, выявляются узлы, в которых наблюдается отрицательное отклонение напряжения, и анализируется его величина с точки зрения реактивных потерь электроэнергии.

2. В подсистемах, выделенных по конфигурации электрической сети, проводится оценка влияния схемы электрической сети на уровень потерь.

3. В подсистемах, разделенных по конструктивному исполнению линий электропередачи (ЛЭП), определяется влияние сопротивлений линий на величину потерь и проводится сравнительный анализ. Сравнительный анализ потерь активной мощности в режимах до и после ввода ИРМ (таб.2.)

Таблица-2.

| N <sub>на</sub><br>ч | N <sub>кон</sub> | Название      | Тип | До ввода ИРМ |      | После ввода ИРМ |      | Разница |      |
|----------------------|------------------|---------------|-----|--------------|------|-----------------|------|---------|------|
|                      |                  |               |     | ΔP           | ΔP%  | ΔP              | ΔP%  | ΔP      | ΔP%  |
| 1                    | 2                | ГЭС-17 - ПС А | ЛЭП | 5.23         | 2.78 | 4.87            | 2.60 | 0.36    | 0.18 |
| 1                    | 3                | ГЭС-17 - ПС Д | ЛЭП | 9.26         | 6.21 | 8.53            | 5.84 | 0.73    | 0.37 |
| 1                    | 4                | ГЭС-17 - ППБ  | ЛЭП | 11.91        | 6.92 | 11.12           | 6.47 | 0.79    | 0.45 |

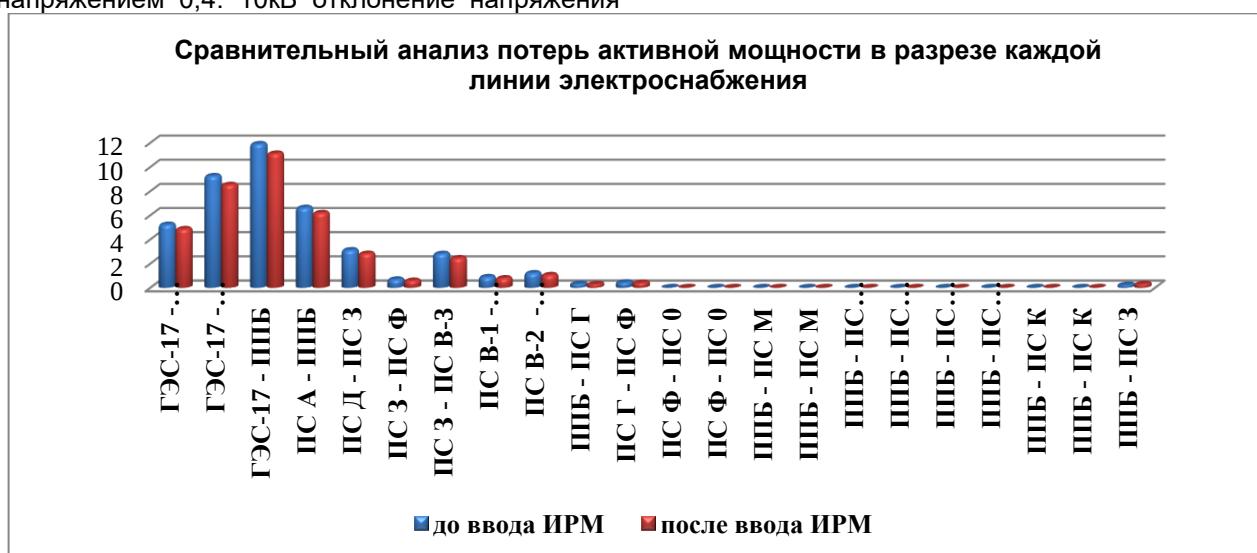


|    |    |                 |     |      |      |      |      |       |       |
|----|----|-----------------|-----|------|------|------|------|-------|-------|
| 2  | 10 | ПС А - ППБ      | ЛЭП | 6.63 | 4.25 | 6.20 | 3.97 | 0.43  | 0.28  |
| 3  | 11 | ПС Д - ПС З     | ЛЭП | 3.12 | 2.52 | 2.83 | 2.32 | 0.29  | 0.2   |
| 10 | 15 | ПС З - ПС Ф     | ЛЭП | 0.70 | 1.46 | 0.60 | 1.25 | 0.1   | 0.21  |
| 10 | 14 | ПС З - ПС В-3   | ЛЭП | 2.82 | 2.76 | 2.46 | 2.44 | 0.36  | 0.32  |
| 13 | 15 | ПС В-1 - ПС В-2 | ЛЭП | 0.90 | 1.15 | 0.80 | 1.04 | 0.1   | 0.11  |
| 14 | 9  | ПС В-2 - ПС В-3 | ЛЭП | 1.22 | 1.44 | 1.07 | 1.27 | 0.15  | 0.17  |
| 4  | 11 | ППБ - ПС Г      | ЛЭП | 0.33 | 0.61 | 0.31 | 0.57 | 0.02  | 0.04  |
| 9  | 12 | ПС Г - ПС Ф     | ЛЭП | 0.45 | 1.00 | 0.42 | 0.91 | 0.03  | 0.09  |
| 11 | 12 | ПС Ф - ПС 0     | ЛЭП | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0     | 0     |
| 11 | 10 | ПС Ф - ПС 0     | ЛЭП | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0     | 0     |
| 4  | 11 | ППБ - ПС З      | ЛЭП | 0.24 | 0.44 | 0.32 | 0.57 | -0.08 | -0.13 |

Выделяются линии, выполненные разными сечениями, кабельно-воздушные линии. В этой таблице были рассчитаны потери напряжения и мощности для алюминиевых стальных проводников с различной площадью поперечного сечения, при этом потери были рассчитаны для 2 частей суток. Определены потери за день и ночь. Снижение потерь напряжения за счет компенсации реактивной мощности трудно реализуемо для распределенных сельских сетей с преобладанием осветительной и нагревательной нагрузки небольшой единичной мощности.

В точках общего присоединения к сетям напряжением 0,4, 10кВ отклонение напряжения

рассчитывается с учетом потерь напряжения в элементах сети (линии, трансформаторы и др.). Анализируя данные можно сделать следующие выводы, что уровни напряжения повысились после ввода источников реактивной мощности. К примеру, в конце самой протяженной линии Л-Бессопан напряжение повысилось с 206кВ на 220кВ, на 6,4%. А в сети среднее напряжение повысилось на 5,6% и необходимости обеспечивать допустимое отклонение напряжения на зажимах электроприемников в режимах наибольшей и наименьшей нагрузки (рис.1.).



**Рис.1. Сравнительный анализ потерь активной мощности в разрезе каждой линии электроснабжения**

В этой таблице были рассчитаны потери напряжения и мощности для алюминиевых стальных проводников с различной площадью поперечного сечения, при этом потери были рассчитаны для 2 частей суток. Определены

потери за день и ночь. Снижение потерь напряжения за счет компенсации реактивной мощности трудно реализуемо для распределенных сельских сетей с



преобладанием осветительной и нагревательной нагрузки небольшой единичной мощности.

Уровень напряжения в центре питания при этом регулируется с учетом обеспечения нормируемого напряжения у приближенных потребителей. Регулирование уровня напряжения в центре питания и у потребителя осуществляется путем изменения коэффициента трансформации с помощью систем переключения витков обмоток трансформатора.

Для осуществления такого способа регулирования напряжения требуется проведение специального техникоэкономического

анализа. В таблице 3.9. приведено сравнение потерь активных мощностей в разрезе каждой линии 220кВ Зарафшан-Учкудукского энергоузла до и после ввода ИРМ. Анализируя данные можно сделать следующие выводы, что величина потерь активной мощности в сети намного уменьшилась, что позволило увеличить пропускную способность линий. Тем более, как показывает анализ, срок службы большинства сетей составляет 30..50 лет и требуется их реконструкция (таб.3.)

Таблица-3

| N <sub>нач</sub> | N <sub>кон</sub> | Название        | Тип | До ввода ИРМ |      | После ввода ИРМ |      | Разница |       |
|------------------|------------------|-----------------|-----|--------------|------|-----------------|------|---------|-------|
|                  |                  |                 |     | ΔP           | ΔP%  | ΔP              | ΔP   | ΔP%     | ΔP    |
| 1                | 2                | ГЭС-17 - ПС А   | ЛЭП | 5.23         | 2.78 | 4.87            | 2.60 | 0.36    | 0.18  |
| 1                | 3                | ГЭС-17 - ПС Д   | ЛЭП | 9.26         | 6.21 | 8.53            | 5.84 | 0.73    | 0.37  |
| 1                | 4                | ГЭС-17 - ППБ    | ЛЭП | 11.91        | 6.92 | 11.12           | 6.47 | 0.79    | 0.45  |
| 2                | 10               | ПС А - ППБ      | ЛЭП | 6.63         | 4.25 | 6.20            | 3.97 | 0.43    | 0.28  |
| 3                | 11               | ПС Д - ПС З     | ЛЭП | 3.12         | 2.52 | 2.83            | 2.32 | 0.29    | 0.2   |
| 10               | 15               | ПС З - ПС Ф     | ЛЭП | 0.70         | 1.46 | 0.60            | 1.25 | 0.1     | 0.21  |
| 10               | 14               | ПС З - ПС В-3   | ЛЭП | 2.82         | 2.76 | 2.46            | 2.44 | 0.36    | 0.32  |
| 13               | 15               | ПС В-1 - ПС В-2 | ЛЭП | 0.90         | 1.15 | 0.80            | 1.04 | 0.1     | 0.11  |
| 14               | 9                | ПС В-2 - ПС В-3 | ЛЭП | 1.22         | 1.44 | 1.07            | 1.27 | 0.15    | 0.17  |
| 4                | 11               | ППБ - ПС Г      | ЛЭП | 0.33         | 0.61 | 0.31            | 0.57 | 0.02    | 0.04  |
| 9                | 12               | ПС Г - ПС Ф     | ЛЭП | 0.45         | 1.00 | 0.42            | 0.91 | 0.03    | 0.09  |
| 11               | 12               | ПС Ф - ПС О     | ЛЭП | 0.00         | 0.00 | 0.00            | 0.00 | 0       | 0     |
| 11               | 10               | ПС Ф - ПС О     | ЛЭП | 0.00         | 0.00 | 0.00            | 0.00 | 0       | 0     |
| 4                | 11               | ППБ - ПС З      | ЛЭП | 0.24         | 0.44 | 0.32            | 0.57 | -0.08   | -0.13 |

При подаче электроэнергии потребителям необходимо обеспечить бесперебойную, надежную и качественную электроэнергию. Но позже этого процесса недостаточно. В настоящее время разрабатываются меры, максимально облегчающие решение этого вопроса.

По результатам работы можно сделать следующие основные выводы. Электрическая энергия, передаваемая по электрическим сетям, потребляет часть ее для своего использования. Часть вырабатываемой электроэнергии используется для создания электрических и магнитных полей, в электрических сетях, а для ее передачи необходимы технологические затраты. и во всех направлениях или в каждом из них, а также при выявлении очагов потери. Процесс расчета потребляемой электроэнергии и мощности очень трудоемок. В рассматриваемый период важным вопросом считается определение допустимого уровня потерь по экономическим критериям, а также определение определений электроэнергии, нормирование потерь. Разница между высоковольтными и низковольтными конденсаторами, следующая: напряжением 6-10кВ до 15%.

#### Список использованных литературы:

[1.] Tovbaev A.N., Mardonov D.Sh., Mamatazimov A.X., Samatova S.S. Analysis of subharmonic oscillations in multi-phase ferroresonance circuits

using a mathematical model// Apitech III 2021. Journal of Physics: Conference Series 2094 (2021) 052048 IOP Publishing <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2094/5/052048> pp.260-216.

[2.] Tog'ayev I.B., Tursunova A.A., Eshmirzayev M.A. Monitoring of overhead power lines.// Problems and scientific solutions. Vol.6, Issue 4, 2022 Australia, Melbourne. 267-271pt.

[3.] Tog'ayev I.B., Isoqulov D.SH., Turniyozov Z.A. Monitoring of air power lines with an assessment of their condition // Central Asian Research Journal For Interdisciplinary Studies (CARJIS) ISSN (online): 2181-2454 Volume 2 | Issue 5 | May, 2022

[4.] Karshibaev A.I, Narzullaev B.Sh., Murodov X.Sh. Models and methods for optimizing the control of electricity consumption in industrial enterprises. // Journal of physics. International scientific conference on Applied Physics, information technology and engineering, APITECH 2020; Krasnoyarsk City Hall of Science and Technology; Russian Federation; 1679-voice, Edition 2, November 25, 2020.

[5.] Mavlonov J. A., Mardonov D.Sh. "Methods for improving the efficiency of electric energy for ore-milling Mills" // mining notice. Scientific technical and production Journal. - Navoi, 2022. -№ 3. - st. P.102-104.

[6.] Ishnazarov O.X., Mavlonov J. A., Mardonov D.Sh., J.N. Kuchkorov Influence on the grinding process in ball mills of the degree of loading by balls // VII International scientific and practical conference



"Energy and energy conservation: theory and practice" Kemerovo, 7-9 December 2022.

**[7.]** Ishnazarov O.X., Mavlonov J. A., Mardonov D.Sh." main prospects for improving the efficiency of electrical energy when loading ball mills with ball " // mining notice. Scientific technical and production Journal. - Navoi, 2023. -№ 1. - st. Pp. 112-117.

**[8.]** Ataulayev N. O., Nizomova D. F., Muxammadov B. Q. Mathematical models of magnetic circuits of a magnetomodulation DC converter //Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2021. – T. 2094. – №. 5. – C. 052039.

**[9.]** Ataulayev N., Ataulayev A., Karimtoшовich S. M. Control and management of the operating modes of batteries with the use of magnetic modulation converters //IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing, 2021. T. 1047. №.1.P. 012030.

**[10.]** A.D. Taslimov., F.M. Rakhimov., A.O. Norkulov., A. A. Yuldashev., Research Of The Optimum Scale Of Standard Sections Of Agricultural Purpose Lines. E3S Web of Conferences216, 01158(2020)RSES2020.

<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021601158>.

**[11.]** Ibodulaev, M., Tovboyev, A.N. Research of Ferro-Resonance Oscillations at the Frequency of Subharmonics in Three-Phase Non-Linear Electric Circuits and Systems //E3S web of Conferences, 2020,216,01113

[https://www.e3sconferences.org/articles/e3sconf/pdf/2020/76/e3sconf\\_rses2020\\_01113.pdf](https://www.e3sconferences.org/articles/e3sconf/pdf/2020/76/e3sconf_rses2020_01113.pdf)

**[12.]** Tovboev, A., Ibodulaev, M., Baranova, M., Grishina, I. Analysis of auto parametric oscillations in three-phase electro-ferromagnetic circuits//May 2020 IOP Conference Series Materials Science and Engineering 862(6):062041 DOI:10.1088/1757-899X/862/6/062041