



ВОЛОГОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Энергоэффективность и энергосбережение в системах электроснабжения

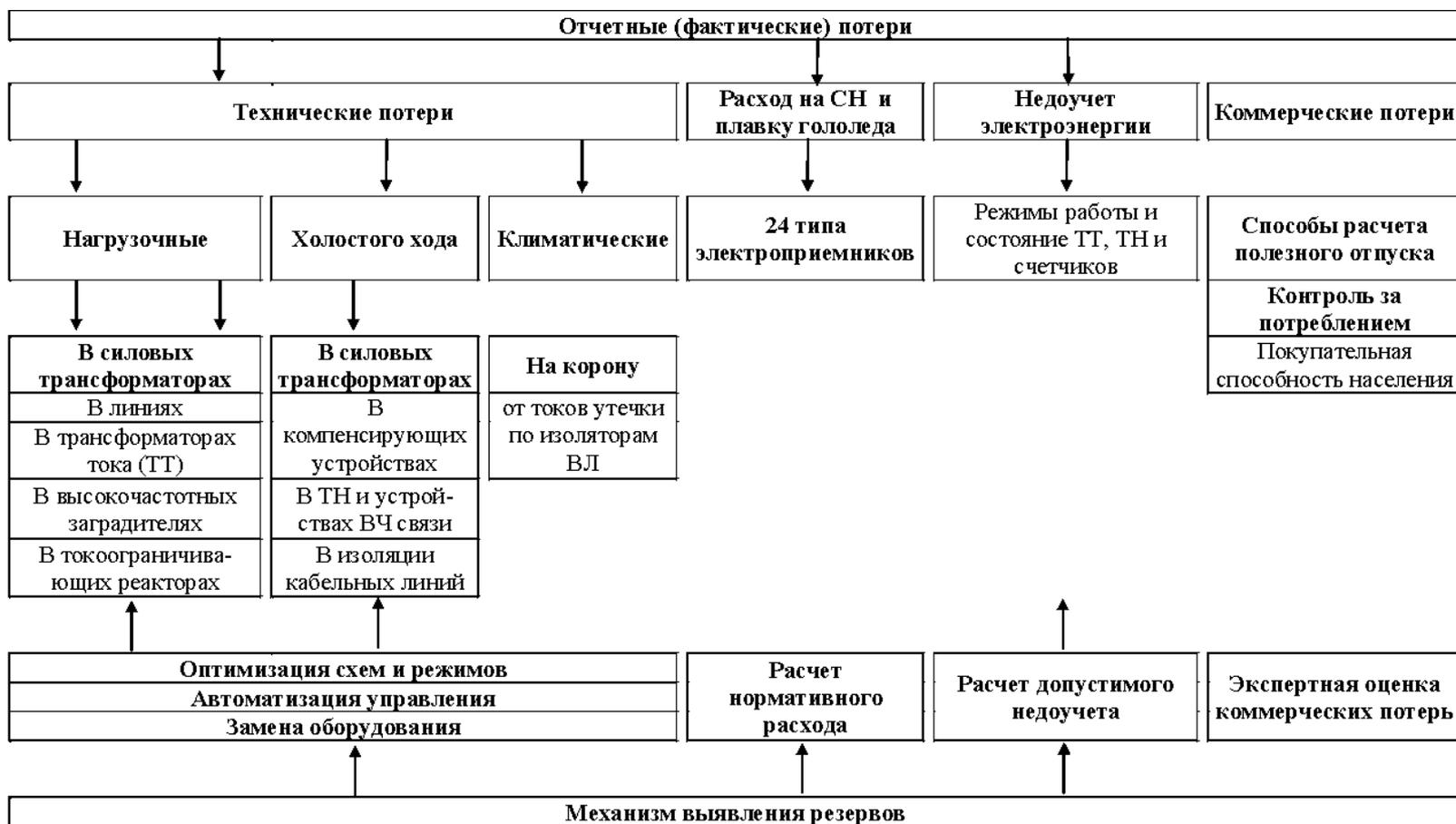
к.т.н., доцент кафедры электроснабжения
А.Н. Алюнов



Лекция 3

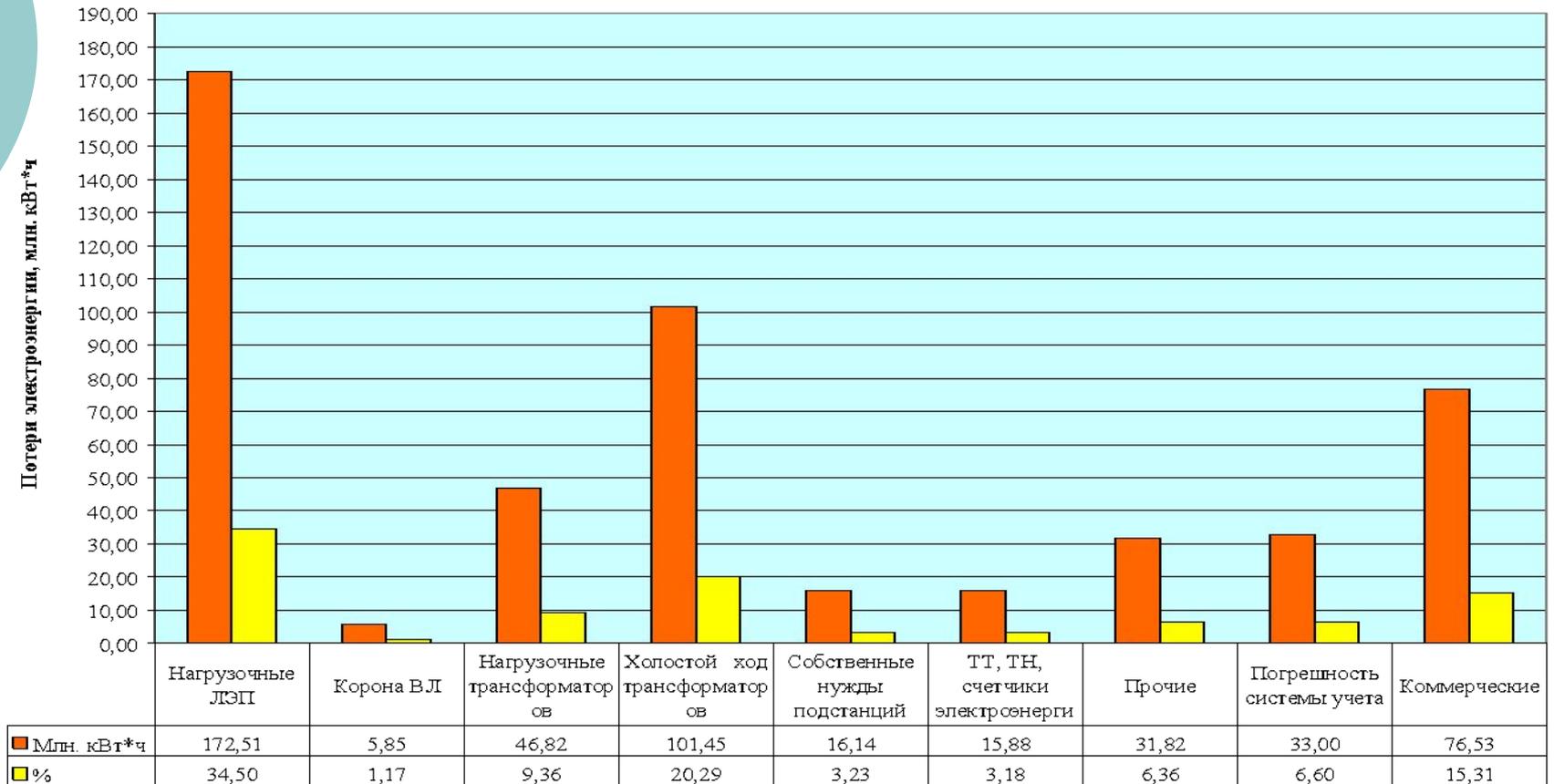
Нормирование и методы расчета потерь электроэнергии в силовых трансформаторах и линиях электропередачи

Структура потерь электрической энергии



Структура потерь АО-энерго

Диаграмма годовой структуры потерь электроэнергии АО-энерго





Энергетические балансы

Энергетические балансы цехов и предприятий

Состоят из приходной и расходной частей

- $1 \text{ кВт}\cdot\text{ч} = 0,123 \text{ т.у.т.};$
- $10 \text{ м}^3 \text{ природного газа} = 1,15 \text{ т.у.т.};$
- $1 \text{ тонна бензина} = 1,493 \text{ т.у.т.};$
- $1 \text{ Гкал} = 0,143 \text{ т.у.т.}$

Энергетические балансы цехов и предприятий



Энергетические балансы цехов и предприятий

Разность между количеством полученной или произведенной электрической энергии и энергии, израсходованной на технологические нужды, дает потери энергии.

Энергетические балансы цехов и предприятий



1-я категория: Возможность и целесообразность устранения потерь

- **потери неустранимые**, которые определяются особенностью технологического процесса и используемым оборудованием (пример: потери холостого хода трансформатора);
- **потери, устранение которых возможно** (пример: нагрузочные потери в трансформаторе);
- **потери, устранение которых в данных технологических условиях невозможно**;
- **потери, устранение которых нецелесообразно.**

2-я категория: Место возникновения потерь

- при выработке энергии;
- при транспортировке энергии;
- при потреблении энергии.



3-я категория: Физический принцип и характер потерь

Потери электрической энергии в линиях, трансформаторах, преобразователях и т.д.

Баланс электрической энергии для подстанции за 1 месяц

Показатели	Количество электрической энергии, тыс. кВт×ч	В процентах к получению электроэнергии, %
1 Поступление электрической энергии	11600160	100
2 Реализация электрической энергии	11726558	101
3 Потери электрической энергии	-126398	-1
Структура потерь электроэнергии		
3.1 Потери в сетях 10 кВ	1101	0,009
3.2 Потери в сетях 110 кВ	25296	0,22
3.3. Потери в трансформаторах тока и напряжения	16	0
3.4. Расход на собственные нужды	35464	0,3
4 Всего технические потери (3.1+3.2+3.3+3.4)	61877	0,53
5 Фактический небаланс (3-4)	-188275	-1,6
6 Погрешность системы учета (технически объяснимый небаланс)	9412	0,08
7 Небаланс (коммерческие потери) (5+6)	-178863	-1,54

Коммерческие потери электроэнергии

Одним из приоритетных направлений энергетических компаний является разработка мероприятий по снижению коммерческих потерь. К коммерческим потерям электрической энергии относят:

- Недостоверный учет;
- Ошибки в начислениях за отпущенную электрическую энергию;
- Недоплата за электрическую энергию.

$$W_{\hat{E}} = W_{\hat{A}} - W_{\hat{I}} - W_T = W_1 + W_2 + W_3$$

W_{Γ} - выработанная или полученная электрическая энергия;

W_{Π} - электрическая энергия, отпущенная потребителю или затраченная на СН в энергосистеме;

W_T - потери энергии в энергосистеме (технические потери);

$W_{1,2,3}$ - структура потерь, соответствует вышеописанным пунктам.

ΔW1: Недостоверный учет электроэнергии

- Работа приборов учета с отклонениями от нормативных характеристик;
- Неправильное подключение цепей тока и напряжения, цепей электротехнических средств измерения;
- Неисправность приборов учета и счетного механизма;
- Ошибки при снятии показаний электрических счетчиков;
- Ошибочное или умышленное изменение коэффициентов пересчета или сведений об учете электрической энергии;
- Замена приборов учета без согласования с энергосбытовыми подразделениями;
- Несанкционированное подключение электрических потребителей;
- Подключение потребителей помимо счетчика;
- Вмешательство в работу счетчика с целью изменения показаний;
- Несообщение о неправильной работе счетчика;
- Недостаточное обеспечение системами технического учета;
- Не обеспечение единства и одновременности измерений.

ΔW2: Ошибки в начислениях за электроэнергию

- ошибочные и недостоверные сведения об электропотребителях;
- невыставленные счета потребителям;
- ошибки при передаче информации о потреблении электроэнергии;
- расчеты по приборам учета, установленным не на границе балансовой принадлежности.

ΔW3: Недоплата за электроэнергию

Возникает при ошибочной или умышленной неоплате электроэнергии потребителями, находящимися на самооплате.



Расчеты потерь электроэнергии

Нормативные документы по расчету потерь электроэнергии

- 1. Методика ФЭК, утвержденная Постановлением ФЭК РФ 17.03.2000 № **14/10** «Об утверждении нормативов технологического расхода электрической энергии (мощности) на ее передачу (потерь), принимаемую для целей расчета и регулирования тарифов».
- 2. Методика расчета нормативов потерь электрической энергии в электрических сетях (утверждена приказом Минпромэнерго РФ от 03.02.2005 №**21**).
- 3. Методика расчета нормативных технологических потерь электроэнергии при ее передаче по электрическим сетям в базовом периоде (утверждена приказом Минпромэнерго РФ от 04.10.2005 №**267**).
- 4. Методика расчета нормативных технологических потерь электроэнергии при ее передаче по электрическим сетям в базовом периоде (утверждена приказом Минэнерго РФ от 30.12.2008 №**326**).

Коэффициенты, характеризующие графики нагрузок

- Максимальная активная (P_{\max} , кВт), реактивная (Q_{\max} , квар) и полная (S_{\max} , кВА) мощности.
- Минимальная активная (P_{\min}), реактивная (Q_{\min}) и полная (S_{\min}) мощности.
- Период графика $T_{\text{сут}}$ –сутки, $T_{\text{мес}}$ -месяц, $T_{\text{г}}$ –год.
- Активная (W , кВт*ч), реактивная (V , квар*ч) и полная (Ws , кВА*ч) энергии.
- Средняя активная ($P_{\text{ср}}$), реактивная ($Q_{\text{ср}}$) и полная ($S_{\text{ср}}$) мощности.

$$P_{\text{ср}} = W / T_{\text{сут}}; \quad Q_{\text{ср}} = V / T_{\text{сут}}; \quad S_{\text{ср}} = Ws / T_{\text{сут}}; \quad (1)$$

- Эффективная (среднеквадратичная) мощность

$$P_{\text{эфф}} = \left(\sqrt{\sum_{i=1}^T P_i^2} \right) / T, \quad \text{кВт} \quad (2)$$

- Коэффициент заполнения графика

$$K_{\text{зап}} = W / (P_{\max} * T) = P_{\text{ср}} / P_{\max} = T_{\max} / T \quad (3)$$

- Коэффициент формы графика

$$K_{\text{ф}} = P_{\text{эфф}} / P_{\text{ср}} \quad (4)$$

- Квадрат коэффициента формы графика

$$K_{\text{ф}}^2 = (1 + 2 * K_{\text{зап}}) / 3 * K_{\text{зап}} \quad (5)$$

- Коэффициент максимума

$$K_{\text{макс}} = P_{\max} / P_{\text{ср}} \quad (6)$$

- Коэффициент мощности средний

$$T_{\text{гфср}} = Q_{\text{ср}} / P_{\text{ср}} \quad (7)$$

Коэффициенты, характеризующие графики нагрузок

- Коэффициент мощности в максимум активной нагрузки

$$T_{\text{гфмакс}} = Q_{\text{макс}} / P_{\text{макс}} \quad (8)$$

- Число часов максимума нагрузки

$$T_{\text{макс}} = W / P_{\text{макс}}, \text{ час} \quad (9)$$

- Время наибольших потерь относительное

T

$$\tau_0 = \sum_{i=1} P_i^2 / (P_{\text{макс}}^2 * T); \quad (10)$$

-

$$\tau_0 = (K_{\text{зап}} + 2 * K_{\text{зап}}^2) / 3 \quad (11)$$

- Время наибольших потерь:

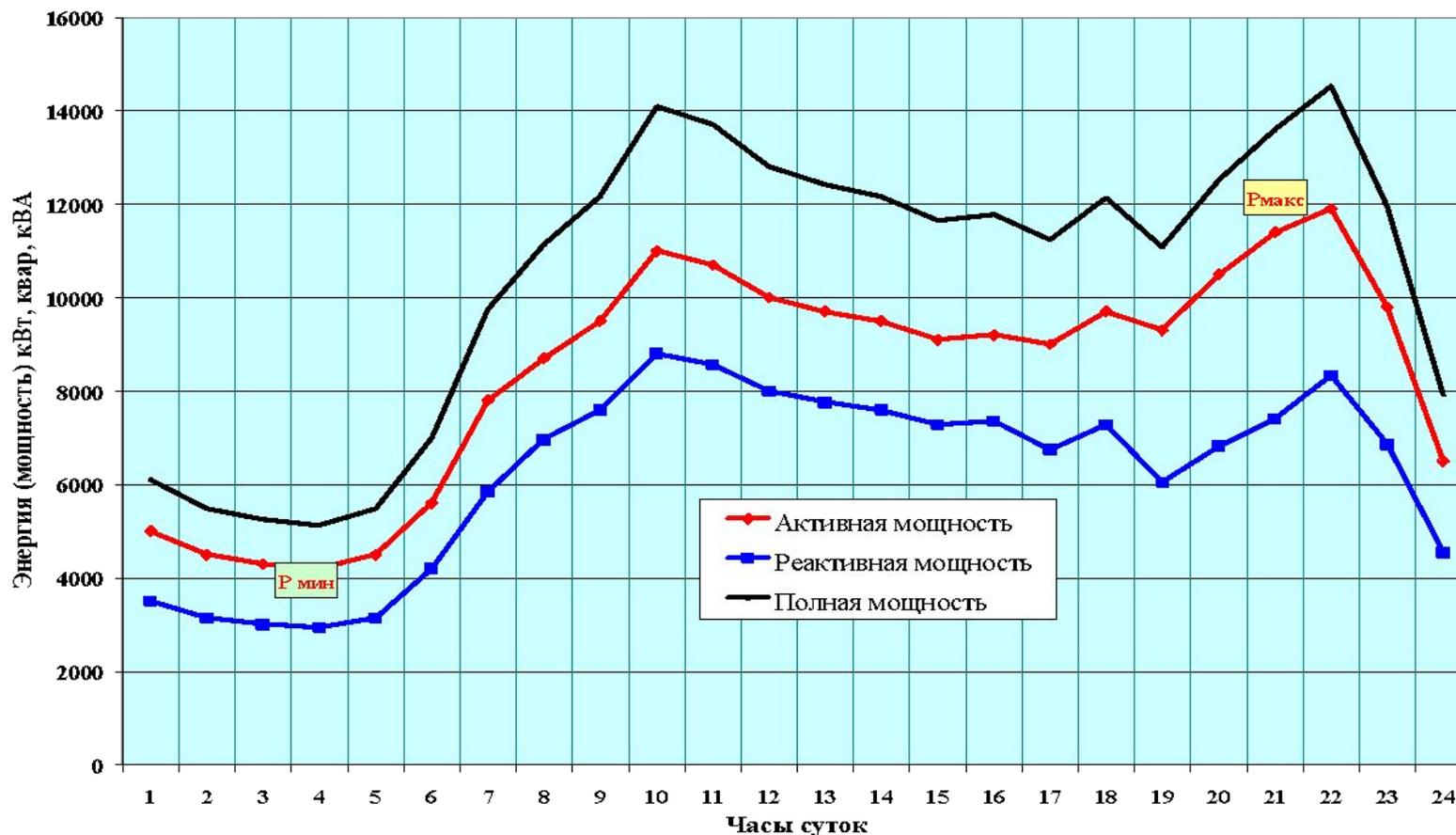
$$\text{суточное } \tau_{\text{сут}} = (K_{\text{зап}} + 2 * K_{\text{зап}}^2) / 3 * T_{\text{сут}} \quad (12)$$

$$\text{годовое } \tau_{\text{год}} = (K_{\text{зап}} + 2 * K_{\text{зап}}^2) / 3 * T_{\text{год}}; \quad (13)$$

$$\tau_{\text{год}} = (0,124 + T_{\text{макс}} / 10^4)^2 * T_{\text{год}} \quad (14)$$

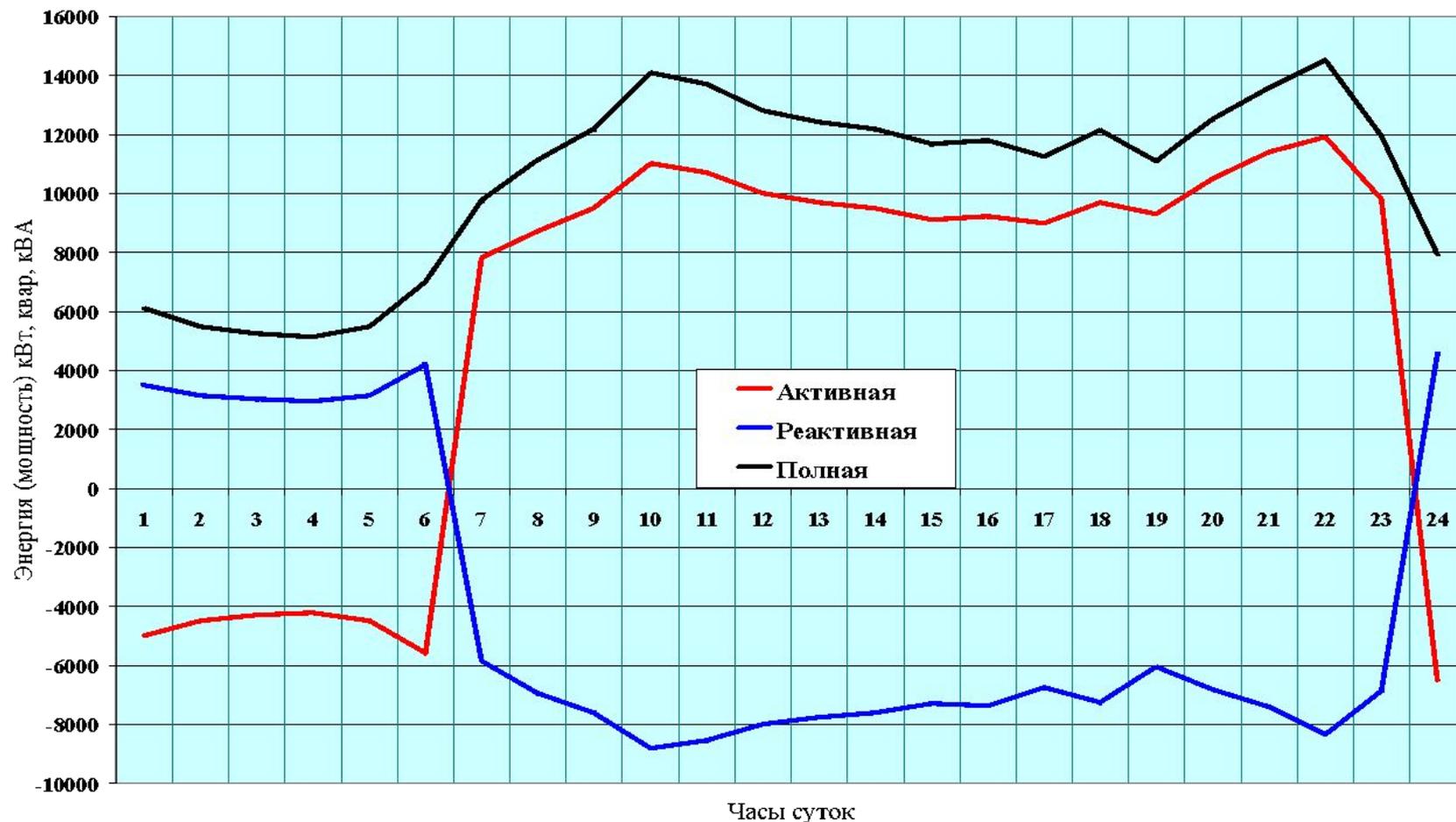
Суточный график активной, реактивной и полной мощности

Суточный график активной, реактивной и полной энергий

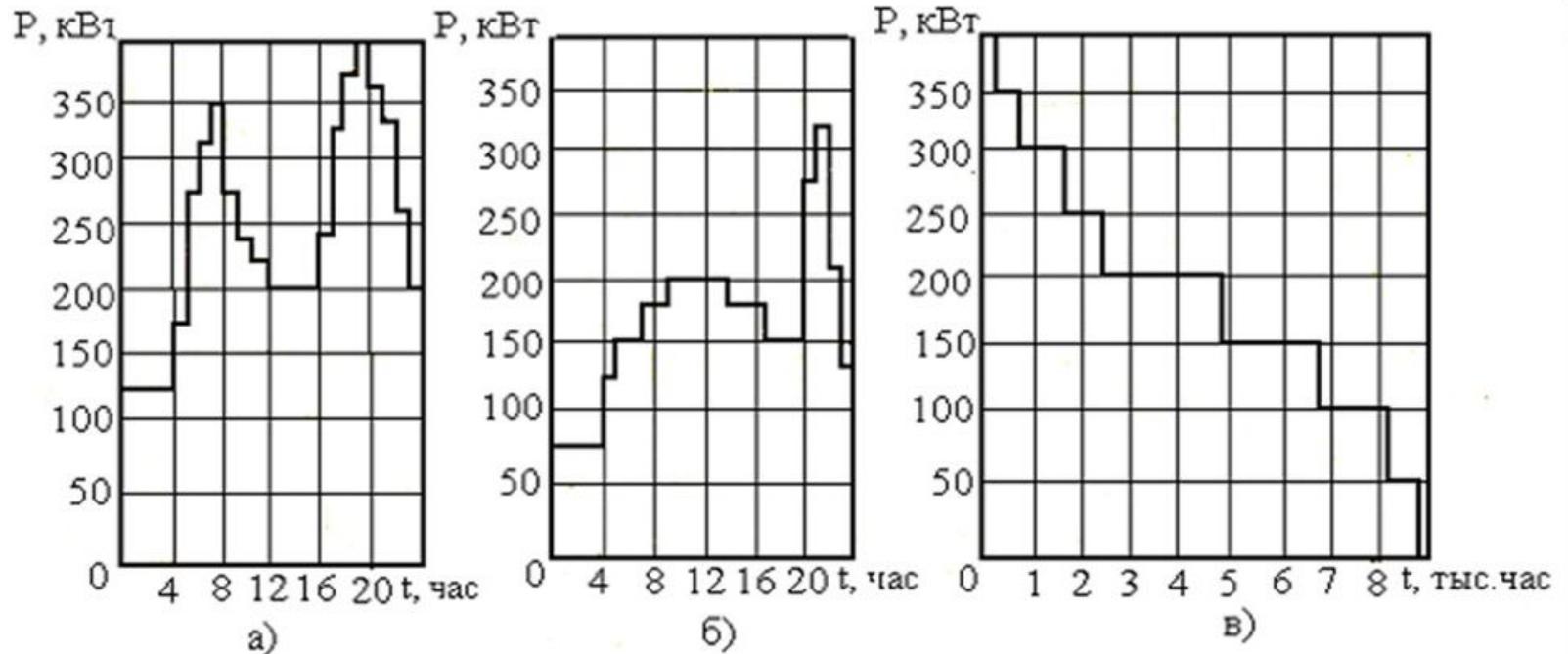


Суточный график с изменением направления потоков мощности

Суточный график передачи энергии с изменением направления потоков

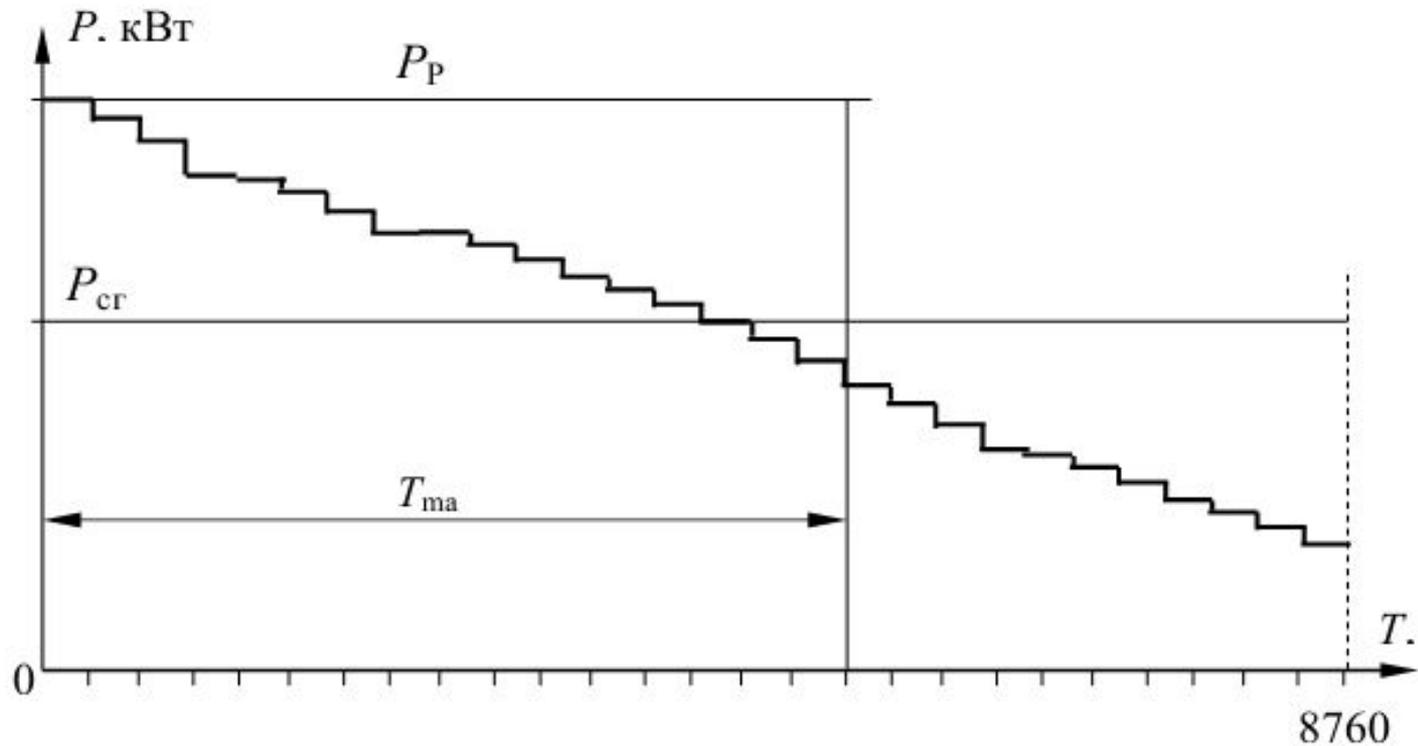


Годовой график активной мощности



Графики электрических нагрузок: а – суточный зимнего периода (213); б – суточный летнего периода (152); в – годовой график по продолжительности

Годовой график активной мощности



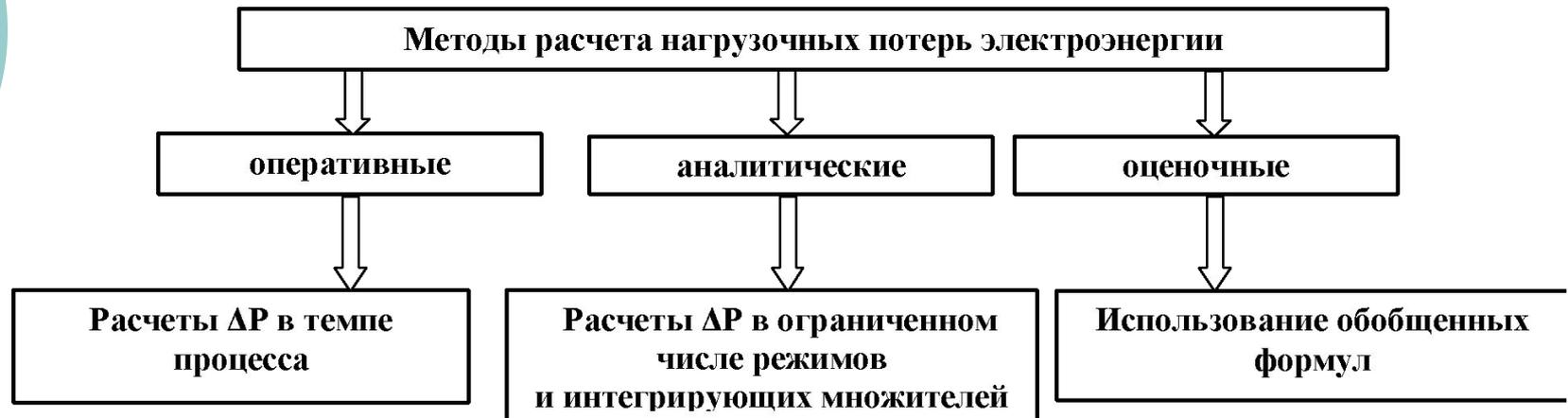
$T_{ма}$ – число часов использования максимальной (активной) мощности

Время наибольших потерь

Временем наибольших потерь τ называется время, за которое при передаче наибольшей нагрузки в сети возникнут те же потери электроэнергии, что и при работе сети по действительному графику нагрузки.

$$\tau_{\text{ГОД}} = (0,124 + T_{\text{ма}}/10^4)^2 * T_{\text{год}}$$

Методы расчета нагрузочных потерь электроэнергии



Метод оперативных расчетов

Метод **оперативных расчетов** в режиме текущего времени (в темпе процесса) применяется при условиях:

- наличие часовых значений об энергиях по данным автоматизированной информационно-измерительной системы коммерческого учета электроэнергии (АИИСКУЭ);
- необходимости расчета потерь электроэнергии до точки разграничения балансовой принадлежности:

$$\Delta W_i = \Delta P_i = (P_i^2 + Q_i^2)/U^2 * L * R_0; \quad \Delta W_{\text{пер}} = \sum_{i=1}^n \Delta W_i \quad (15)$$

Аналитические методы

1. **Метод средних нагрузок** предпочтителен в условиях реальной эксплуатации, где известно количество энергии, отпущенной в объект и известен режим работа (график нагрузки):

$$\Delta W_{\text{пер}} = 3 \cdot I_{\text{ср}}^2 \cdot R_o \cdot L \cdot K_{\text{ф}}^2 \cdot T_{\text{пер}} \quad (16)$$

$$I_{\text{ср}}^2 = (W^2 + V^2) / (T_{\text{пер}}^2 \cdot U^2 \cdot 3); \quad (17)$$

Подставляя формулу тока (17) в формулу (16) получим;

$$\Delta W_{\text{пер}} = (W^2 + V^2) \cdot R_o \cdot L \cdot K_{\text{ф}}^2 / T_{\text{пер}} \cdot U^2. \quad (18)$$

2. **Числа часов наибольших потерь мощности** применяется при проектировании, где расчетная (максимальная) нагрузка и режим ее работы определяются в проекте

$$\Delta W_{\text{пер}} = 3 \cdot I_{\text{р}}^2 \cdot R_o \cdot L \cdot T_{\text{пер}} \cdot T_0 = \Delta P_{\text{макс}} \cdot T_{\text{пер}} \cdot T_0 \quad (19)$$

Оценочные методы

Оценки потерь по обобщенной информации о схемах и нагрузках сети. Используется, например, в программе РАП-10-Стандарт для расчета потерь в сети напряжением 0,4 кВ

$$\Delta W_n = K_{0,38} \frac{L_{\text{экв}}}{F_{\text{гол}}} \cdot \frac{W_{0,4}^2 (1 + \operatorname{tg} \varphi)}{D} \cdot \frac{1 + 2k_3}{3k_3} \quad (20)$$



Потери электроэнергии в ЛЭП

Расчет и оптимизация потерь электроэнергии в ЛЭП

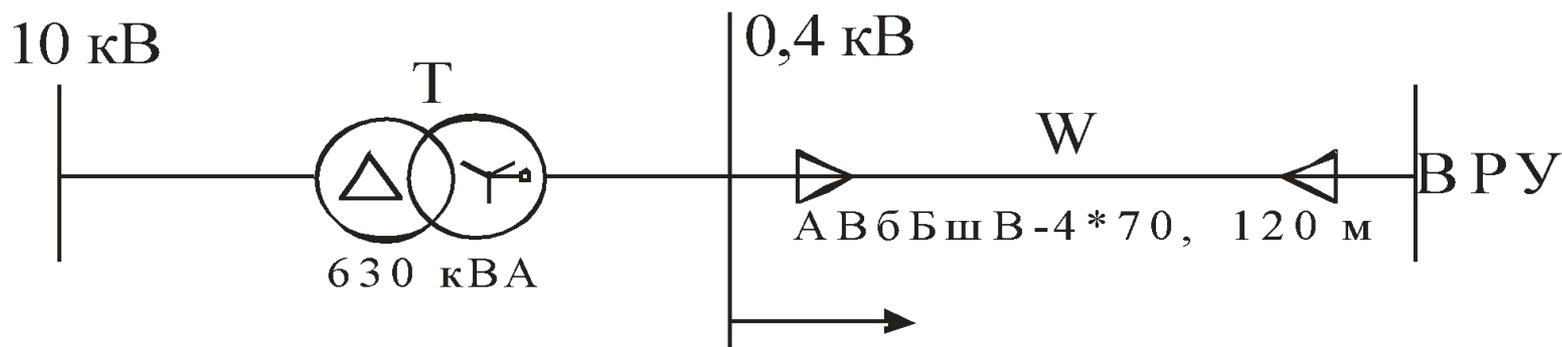
Пути оптимизации нагрузочных потерь проанализируем, исследуя составляющие расчетных формул.

$$\Delta W_{\text{пер}} = \underset{\boxed{1}}{3} * \underset{\boxed{2}}{I_{\text{ср}}^2} * \underset{\boxed{3}}{R_0} * \underset{\boxed{4}}{L} * \underset{\boxed{5}}{K_{\phi}^2} * T_{\text{пер}} = (W^2 + V^2) * R_0 * L * K_{\phi}^2 / T_{\text{пер}} * \underset{\boxed{6}}{U^2}$$

- 1 – Только при симметричной по полюсам нагрузке применима эта формула. Любая несимметрия нагрузок приводит к росту нагрузочных потерь, что показано в следующем примере;
- 2 - Снижение сопротивления проводника за счет увеличения сечения провода или заменой на материал с меньшим удельным сопротивлением, в том числе и сверхпроводник;
- 3 - Снижение длины передачи (оптимизация схемных решений).
- 4 - Выравнивание графика нагрузки;
- 5 - Снижение передачи реактивной энергии за счет ее компенсации в конце питающей ЛЭП (у потребителя);
- 6 - Поддержание напряжения в пределах ГОСТ-32144-2013. Казалось бы, напряжение стоит в знаменателе формулы и его рост должен привести к снижению тока. Дело заключается в следующем:
 - для части электроприемников с ростом напряжения происходит рост нагрузки, а значит и тока;
 - с ростом напряжения происходит рост потерь холостого хода в магнитопроводах трансформаторов и двигателей, а также рост потребления реактивной мощности.

Влияние несимметрии нагрузок на величину потерь электроэнергии

Решим эту задачу на примере электроснабжения жилого дома кабельной линией от трансформаторной подстанции. Схема приведена на рис.



Рассмотрим два варианта:

- симметричная нагрузка током 120 А;
- несимметричная нагрузка, фаза «А»-60 А, фаза «В»-120 А, фаза «С»-180 А;

Удельное сопротивление жилы кабеля 0,447 Ом/км, $T_{ма}$ – число часов использования максимальной мощности 4500 ч ($\tau=2886,2$ ч), расчетное время 1 год (8760 часов).

Влияние несимметрии нагрузок на величину потерь электроэнергии

Симметричный режим

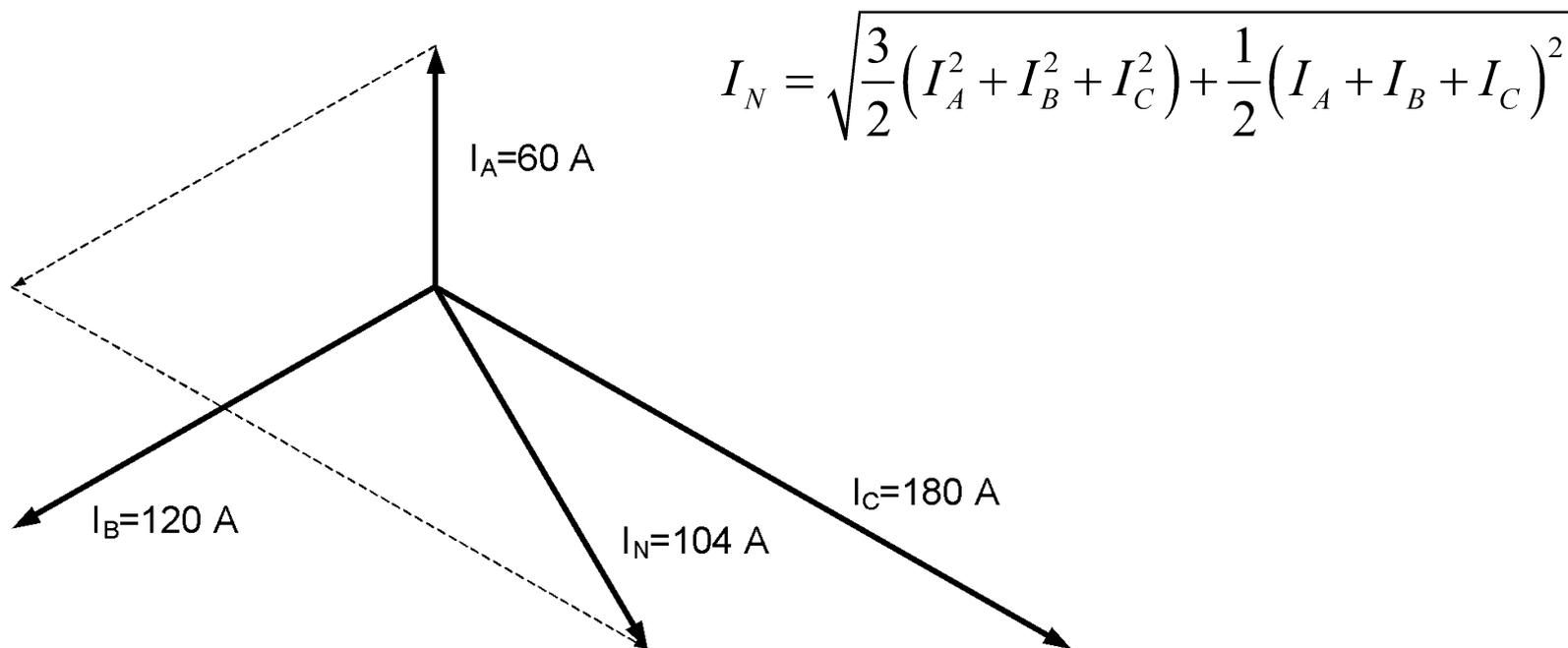
$$\Delta W_{\text{н\`е\`и\`и}} = 3I_{\text{ф}}^2 \rho l \tau$$

где $I_{\text{ф}}$ – ток фазы, А; ρ – удельное сопротивление фазного проводника, Ом/км; l – длина линии, км; τ – время максимальных потерь, ч.

$$\Delta W_{\text{н\`е\`и\`и}} = 3 * 120^2 * 0.447 * 0.120 * 2886.2 = 6688.06 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

Влияние несимметрии нагрузок на величину потерь электроэнергии

Несимметричный режим. Расчет ведем пофазно, учитывая потери от тока в нулевой жиле. Ток в нулевой жиле может быть определен как сумма векторов токов фаз.



Влияние несимметрии нагрузок на величину потерь электроэнергии

Несимметричный режим

$$\Delta W_{\text{н}} = \left[(I_A^2 + I_B^2 + I_C^2) \rho l + I_0^2 \rho_0 l \right] \tau$$

где I_A, I_B, I_C – соответственно токи фаз А, В и С; ρ – удельное сопротивление фазного проводника, Ом/км; ρ_0 – удельное сопротивление нулевого проводника, Ом/км; l – длина линии, км; τ – время максимальных потерь, ч.

$$\Delta W_{\text{н}} = \left[(60^2 + 120^2 + 180^2) 0.447 * 0.120 + 104^2 * 0.447 * 0.120 \right] * 2886.2 = 9474.02 \text{ кВт*ч}$$

Суммарные потери в кабеле составят: В абсолютных единицах несимметрия нагрузок приведет к увеличению потерь на $(9474,02 - 6688,06) = 2785,96$ кВт*ч. Полуторакратная несимметрия токов в фазах привела к росту потерь электроэнергии на **42 %**.

Этот рост потерь не ограничивается потерями в кабеле, так как растут потери и в силовом трансформаторе.

Несимметрия нагрузок приводит к несимметрии напряжений фаз, характеризующейся в ГОСТ 32144-2013 коэффициентом несимметрии нулевой последовательности.



Потери электроэнергии в силовых трансформаторах

Расчет и оптимизация потерь электроэнергии в трансформаторах

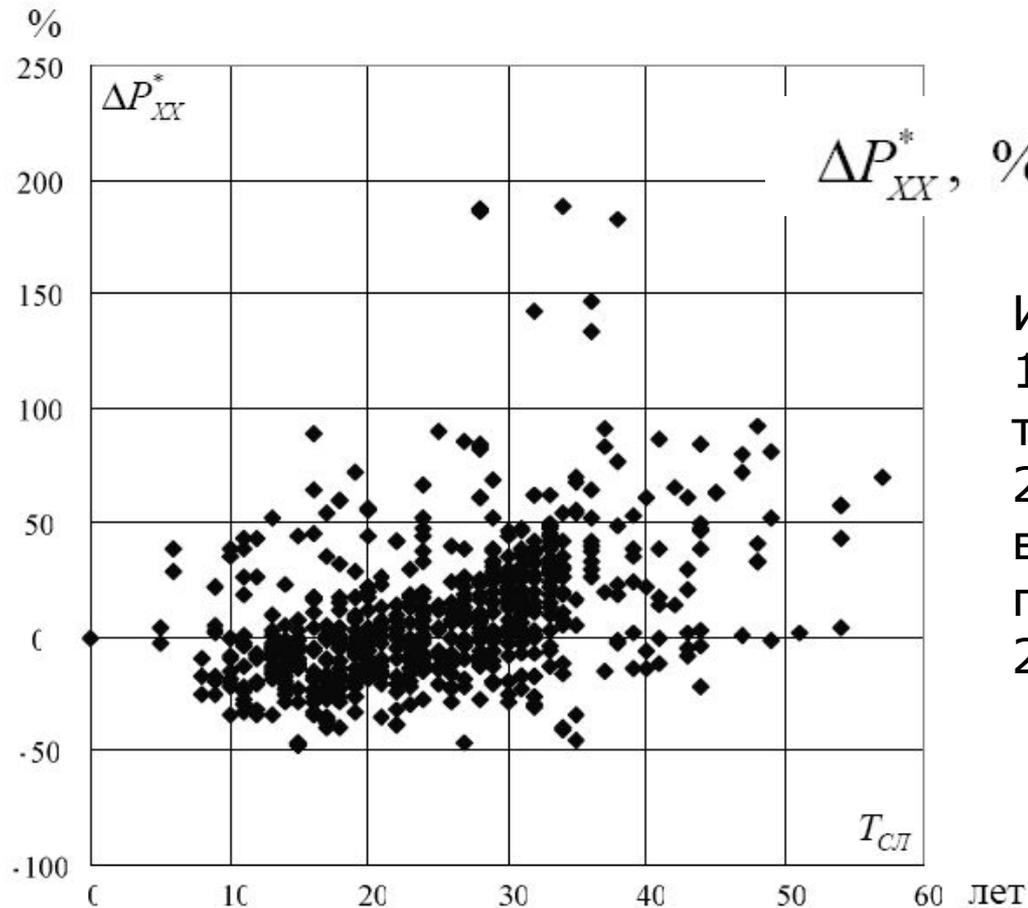
Пути оптимизации нагрузочных потерь проанализируем, исследуя составляющие расчетных формул.

$$\Delta W_{\text{тр}} = (\underbrace{P_x}_{1} * (\underbrace{U_i / U_{\text{ном}}}_{2})^2 + \underbrace{P_k}_{3} \underbrace{K_{\phi}^2}_{4} * (\underbrace{S_{\text{ср}} / S_{\text{ном.тр}}}_{5})^2) * T_{\text{пер}} \quad (23)$$

- 1 – Приведение номинальной мощности трансформатора к реальной нагрузке;
 - Применение современных трансформаторов с малыми потерями холостого хода ТМГ, ТМГМШ. Сравнение параметров трансформаторов напряжением 6÷10/0,4 кВ приведено в таблице 6;
 - (в ходе эксплуатации трансформаторов P_x растет вследствие: изменения магнитных свойств магнитопроводов; увеличения зазоров из-за магнитоstriction).
- 2 – Поддержание напряжения в пределах ГОСТ-32144-2013.
- 3 – Применение современных трансформаторов с малыми потерями короткого замыкания;
 - Применение *в сетях с несимметричной нагрузкой* современных трансформаторов со схемами соединения обмоток: «звезда-зигзаг», «треугольник – звезда с нулем», ТМГСУ «звезда-звезда с нулем»;
- 4 – Выравнивание графика нагрузки;
- 5 - Снижение загрузки трансформатора реактивной мощностью: $S_{\text{ср}} = (\sqrt{W_{\text{тр}}^2 + V_{\text{тр}}^2}) / T$
 - Оптимизация загрузки за счет изменения количества работающих трансформаторов на двух трансформаторных подстанциях.

Мощность трансформаторов	Потери холостого хода R _{хх}						Потери короткого замыкания R _{кз}	Измен. потери хол. хода	Соотношение R _{хх} /R _{кз}		
	ГОСТ 12022-66	ГОСТ 12022-76	ГОСТ 11910-85	ТУ ТМГ Самара	ТУ ТМГ МЭТЗ	ТУ ТМГ МШ МЭТЗ			Новые трансформаторы	Заложенное в программе РАП-10	Эксплуатируемых в Вологда-энерго
кВ*А	Вт	Вт	Вт	Вт	Вт	Вт	Вт	Вт			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
25	170	135	130	110	115	85	600	167	0,192	0,217	0,279
40	240	190	190	150	155	105	880	245	0,176	0,216	0,278
63	360	265	260	220	220	170	1280	335	0,172	0,203	0,261
100	490	365	360	290	270	220	1970	463	0,137	0,183	0,235
160	730	565	560	410	410	320	2650	721	0,155	0,211	0,272
250	1050	820	820	550	580	450	3700	1055	0,157	0,222	0,285
400	1200	1050	1050	830	830	600	5500	1351	0,151	0,191	0,246
630		1560	1560	1050	1240	940	7600	2008	0,163	0,205	0,264
1000		2450	2450	1550	1600	1250	11000	3153	0,145	0,223	0,287
1600		3300	3000	1950			16500	3861		0,182	0,234
2500		4600	4300	3400			23500	5534		0,183	0,235
Сумма относительных потерь холостого хода									1,448	2,235	2,877
Среднее соотношение потерь R _{хх} /R _{кз}									0,161	0,203	0,2615

Изменение потерь холостого хода в процессе эксплуатации



$$\Delta P_{XX}^*, \% = 1,75 \% \cdot (T_{СЛ} - 20)$$

Исследовано:
1323 силовых
трансформаторов
20-630 кВА, введенных
в эксплуатацию в
период с 1941 года по
2004 год.

Сравнение режимов работы трансформаторов

№ п.п.	Критерий оценки	Раздельная работа	Параллельная работа
1	Величина тока короткого замыкания	Единичная относительная	Практически в два раза больше
2	Равномерное распределение нагрузки	В частном случае	Всегда
3	Минимизация потерь электроэнергии	Только при равномерном распределении нагрузки	Всегда
4	Показатели качества электроэнергии	Единичная относительная	Практически в два раза лучше
5	Возможность запуска мощного асинхронного двигателя	Единичная относительная	Практически в два раза возможнее
6	Возможность подключения единичной нагрузки более мощности одного трансформатора	Исключена	Возможна

Условия параллельной работы трансформаторов

- группы соединения обмоток трансформаторов одинаковы;
- одинаковы напряжения как первичных, так и вторичных обмоток, т. е. коэффициенты трансформации равны или различаются не более чем на $\pm 0,5 \%$;
- напряжения КЗ отличаются не более чем на $\pm 10 \%$;
- Мощности трансформаторов отличаются не более чем в 3 раза;
- произведена фазировка трансформаторов.

Оптимальная загрузка трансформаторов

Нагрузку трансформатора, отвечающую максимально возможному коэффициенту полезного действия, можно найти по формулам:

$$S_{\text{н}} = S_{\text{н}} \sqrt{\frac{\Delta P_{\text{X}}}{\Delta P_{\text{K}}}} \quad (1)$$

$$S_{\text{н}} = S_{\text{н}} \sqrt{\frac{\Delta P_{\text{X}} T_{\text{A}}}{\Delta P_{\text{K}} \tau}} \quad (2)$$

Данной мощности будет соответствовать оптимальный коэффициент загрузки, равный

$$k_{\text{с}} = \frac{S_{\text{н}}}{S_{\text{н}}}$$

Оптимальная загрузка трансформаторов

По формуле (1):

Наименование параметра	Обозначение параметра	Ед. изм.	Значение параметра
Исходные данные			
Тип трансформатора	-	-	ТМ-630
Номинальная мощность трансформатора	$S_{\text{НОМ}}$	кВ·А	630
Мощность потерь холостого хода	$\Delta P_{\text{Х}}$	кВт	1.05
Мощность потерь короткого замыкания	$\Delta P_{\text{К}}$	кВт	7.6
Результаты расчета			
Оптимальная мощность нагрузки трансформатора	$S_{\text{ОПТ}}$	кВ·А	234.17
Оптимальный коэффициент загрузки трансформатора	K_3	-	0.37

Оптимальная загрузка трансформаторов

По формуле (2):

Наименование параметра	Обозначение параметра	Ед. изм.	Значение параметра
Исходные данные			
Тип трансформатора	-	-	ТМ-630
Номинальная мощность трансформатора	$S_{НОМ}$	кВ·А	630
Мощность потерь холостого хода	ΔP_X	кВт	1.05
Мощность потерь короткого замыкания	ΔP_K	кВт	7.6
Время работы в году	$T_{Г}$	ч	8760
Время наибольших потерь	τ	ч	2886,2
Результаты расчета			
Оптимальная мощность нагрузки трансформатора	$S_{ОПТ}$	кВ·А	407,96
Оптимальный коэффициент загрузки трансформатора	K_3	-	0.65

Экономичный режим работы трансформаторов

Нагрузка $S_{\text{ЭК}}$, при которой целесообразно отключать один из трансформаторов и, обусловленная равенством потерь мощности при работе одного и двух трансформаторов, определяется по формуле:

$$S_{\text{ЭК}} = S_{\text{НН}} \sqrt{\frac{2\Delta P_{\text{X}}}{\Delta P_{\text{К}}}}$$

T1, T2: ТМ-630;
 $\Delta P_{\text{X}} = 1.05$ кВт;
 $\Delta P_{\text{К}} = 7.6$ кВт;

Экономический эффект при замене малонагруженного трансформатора

Необходимо рассчитать экономический эффект при замене малонагруженного трансформатора КТП марки ТМ-10/0,4, мощностью 160 кВА, 1960 года пуска в эксплуатацию на новый трансформатор ТМГ-25-10/0,4 МЭТЗ. Средняя нагрузка трансформатора составляет 10 кВА.

Мощность потерь холостого хода нового трансформатора ТМГ-25/10 составляет 0.115 кВт, трансформатора ТМ-160/10 по справочнику составляет 0.56 кВт.

Определим реальные потери холостого хода трансформатора ТМ-160/10:

$$\Delta P_{x.x \text{ корр}} = \Delta P_{x.x} * K_{\text{сумм}} = 0,56 * 1,568 = 0,878 \text{ кВт}$$

Используя справочные данные потерь $P_{кз}$, коэффициент заполнения 0,4 ($K_{\Phi}^2 = 1,5$), определим увеличение потерь короткого замыкания по формуле:

$$\Delta P_{кз} = P_{кз,25} * K_{\Phi}^2 * (S_{CP}/S_{НОМ,25})^2 - P_{кз,160} * K_{\Phi}^2 * (S_{CP}/S_{НОМ,160})^2$$

$$\Delta P_{кз} = 0,6 * 1,5 * 0,4^2 - 2,65 * 1,5 * 0,0625^2 = 0,144 - 0,0155 = 0,1285 \text{ кВт}$$

Экономический эффект при замене малонагруженного трансформатора

Определим годовую экономию электроэнергии с учетом увеличения нагрузочных потерь:

$$\Delta W_{\text{год}} = T_{\text{год}} * (\Delta P_{\text{х.х корр}} - \Delta P_{\text{х.х2}} - \Delta P_{\text{кз}}); \quad \Delta W_{\text{год}} = 8760 * (0,878 - 0,115 - 0,1285) = 5558,2 \text{ кВт*ч}$$

Определим годовую экономию в денежном выражении при тарифе за оплату потерь $b_{\text{пот}} = 1,7$ руб/кВт*ч:

$$\mathcal{E} = \Delta W_{\text{год}} * b_{\text{пот}}; \quad \mathcal{E} = 5558,2 * 1,7 = 9449 \text{ руб}$$

Затраты на мероприятие заключаются в приобретении нового трансформатора (Ц) и его монтаже (стоимость монтажа $C_{\text{монт}}$ - принята условно).

$$З = Ц + C_{\text{монт}}; \quad З = 52,8 + 10,0 = 62,8 \text{ тыс.руб}$$

Срок окупаемости данного мероприятия без учета использования вновь демонтируемого трансформатора ТМ-160/10:

$$T_{\text{ок}} = З/\mathcal{E}; \quad T_{\text{ок}} = 62,8 / 3,7646 = 6,65 \text{ года}$$

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Железко Ю.С., Артемьев А.В., Савченко О.В. Расчет, анализ и нормирование потерь электроэнергии в электрических сетях: Руководство для практических расчетов, - М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2003.- 280 .: ил.
2. Методика ФЭК, утвержденная Постановлением ФЭК РФ 17.03.2000 № **14/10** «Об утверждении нормативов технологического расхода электрической энергии (мощности) на ее передачу (потерь), принимаемую для целей расчета и регулирования тарифов».
3. Методика расчета нормативов потерь электрической энергии в электрических сетях (утверждена приказом Минпромэнерго РФ от 03.02.2005 №**21**)
4. Методика расчета нормативных технологических потерь электроэнергии при ее передаче по электрическим сетям в базовом периоде (утверждена приказом Минпромэнерго РФ от 04.10.2005 №**267**)
5. Методика расчета нормативных технологических потерь электроэнергии при ее передаче по электрическим сетям в базовом периоде (утверждена приказом Минэнерго РФ от 30.12.2008 №**326**)
6. Промышленная энергетика, № 4, 2006.: Некоторые аспекты экономической работы силовых трансформаторов./ Заугольников В. Ф., канд. техн. наук, Балабин А. А., Савинков А. А., инженеры РСК ОАО "Орелэнерго"
7. Новости электротехники, №1(31), 2005: Симметрирующее устройство для трансформаторов. Средство стабилизации напряжения и снижения потерь в сетях 0,4 кВ. / Анатолий Сердешнов, к.т.н., Иван Протосовицкий, к.т.н., Юрий Леус, Петр Шумра, БАТУ, г. Минск, Беларусь.

Список источников

8. Приказ Минпромэнерго РФ от 22.02.2007 № 49.: «О ПОРЯДКЕ РАСЧЕТА ЗНАЧЕНИЙ СООТНОШЕНИЯ ПОТРЕБЛЕНИЯ АКТИВНОЙ И РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ ДЛЯ ОТДЕЛЬНЫХ ЭНЕРГОПРИНИМАЮЩИХ УСТРОЙСТВ (ГРУПП ЭНЕРГОПРИНИМАЮЩИХ УСТРОЙСТВ) ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЯЗАТЕЛЬСТВ СТОРОН В ДОГОВОРАХ ОБ ОКАЗАНИИ УСЛУГ ПО ПЕРЕДАЧЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ (ДОГОВОРАХ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ)»
9. Проект «Методические указания по расчету повышающих (понижающих) коэффициентов к тарифам на услуги по передаче электрической энергии в зависимости от соотношения потребления активной и реактивной мощности для отдельных энергопринимающих устройств (групп энергопринимающих устройств) потребителей электрической энергии, применяемых для определения обязательств сторон в договорах об оказании услуг по передаче электрической энергии (договорах энергоснабжения или купли-продажи (поставки) электрической энергии) », ФСТ, 2008 г.
10. Прайс-лист на изделия для энергосбережения ООО «ЭЛПРИ», г. Чебоксары, 1.06.2007.
11. ПРАЙС ЛИСТ от 12.04.2006 г. ЗАО "МАТИК ЭЛЕКТРО" 125190 г. Москва. а/я 53. Походный проезд, дом 4, корп. 1 оф. 7 тел. (495) 223-66-79 - многоканальный, факс (495) 223-66-14, моб. (495) 740-06-90 sales@matic.ru, www.matic.ru.
12. Экономия энергоресурсов в промышленных технологиях. Справочно-методическое пособие / Авторы-составители: Г.Я. Вагин, Л.В. Дудникова, Е.А. Зенютич, А.Б. Иоскутов, Е.Б. Солнцев; под ред. С.К. Сергеева; НГТУ, НИЦЭ – Новгород, 2001. -296 с.
13. Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д.Л. Файбисовича. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: ЭНАС, 2012.- 376 с.: ил.
14. Онлайн Электрик: Интерактивные расчеты систем электроснабжения. – 2008 [Электронный ресурс]. Доступ для зарегистрированных пользователей. – URL: <http://www.online-electric.ru> (дата обращения: 24.12.2013).