

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМОВ ХИЩЕНИЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ОЭС И ЕЁ СТРУКТУРАХ (ОБЛЭНЕРГО, ПЭС, РЭС) С ПОМОЩЬЮ МАКРОПОКАЗАТЕЛЕЙ

Проведено аналіз структури втрат електроенергії в електричних мережах енергосистем. Запропоновано алгоритм розрахунку обсягів розкрадання електроенергії на основі макропоказників. Отримано конкретні результати для об'єднаної енергосистеми України.

Проведен анализ структуры потерь электроэнергии в электрических сетях энергосистем. Предложен алгоритм расчёта объёмов хищений электроэнергии с помощью макропоказателей. Получены конкретные результаты для Объединённой энергосистемы Украины.

По данным Минэнерго Украины технологический расход активной электроэнергии (ТРЭ) на ее транспорт, распределение и производственные нужды в электрических сетях энергоснабжающих компаний составил в 1998 году 30,1 млрд. кВтч или 18,7%. Самые высокие ТРЭ зафиксированы в Закарпатьеоблэнерго — 42,4%, Херсоноблэнерго — 37,1%, Николаевооблэнерго — 35,4% Одессаоблэнерго — 34%, Черновцыоблэнерго — 32,7%, Крымэнерго — 32%.

Приведенные цифры потерь просто шокируют, особенно в сравнении с потерями электроэнергии (э/э) в развитых странах: Германия — 4,4%, Франция — 6,4%, Великобритания — 7,7% и т.д.

Приведенные Минэнерго цифры, на наш взгляд, представляют собой в действительности никакой не технологический расход активной э/э, а общие потери активной э/э $\Delta\mathcal{E}$, включающие

- коммерческие потери э/э, т.е. потери э/э в счетчиках коммерческого учета, $\Delta\mathcal{E}_{ком}$;
- хищения э/э, т.е. неоплаченную и внеучётную э/э, $\mathcal{E}_x$;
- суммарный технологический расход э/э при полезном (оплаченном, зафиксированном счетчиками коммерческого учета) отпуске э/э и при хищении э/э, $\Delta\mathcal{E}_{ТРЭ}$;

$$\Delta\mathcal{E} = \Delta\mathcal{E}_{ком} + \mathcal{E}_x + \Delta\mathcal{E}_{ТРЭ} \quad (1)$$

Определение коммерческих потерь э/э. Коммерческие потери э/э традиционно потому так называются, что связаны с погрешностью индукционных счетчиков коммерческого учета э/э, и определяются укрупненно по формуле

$$\Delta\mathcal{E}_{ком} = (1 + k_1 + k_2 + k_3) \mathcal{E}_n \cdot \frac{\gamma}{100}, \quad (2)$$

где γ — класс точности индукционных счетчиков;

$\mathcal{E}_n$ — активная э/э, зафиксированная счетчиком за расчетный период;

k_1, k_2, k_3 — соответственно коэффициенты несинусоидальности и несимметрии напряжения, отклонения частоты.

В случае отсутствия данных о фактических показателях качества э/э в энергосистеме можно принять предельно допустимые ГОСТ 13108-87 нормы коэффициентов.

Использование электронных счетчиков, класс точности которых находится в пределах 0,5-1,0 и не зависит от снижения нагрузки, из-

менения частоты, несинусоидальности напряжения и тока, несимметрии напряжения, температуры окружающей среды позволяет существенно, в 5-6 раз, снизить коммерческие потери э/э.

Определение суммарного технологического расхода э/э. Потребление э/э в ОЭС (облэнерго, ПЭС, РЭС) условно можно разделить на два: полезное (оплаченное потребителями или зафиксированное счетчиками коммерческого учета) и похищенное. Полезная и похищенная э/э включают активную и реактивную составляющие: $\mathcal{E}_n, W_n; \mathcal{E}_x, W_x$. При передаче полезной и похищенной э/э через распределительные сети суммарный технологический расход активной э/э пропорционален квадрату активных и реактивных потоков

$$\Delta\mathcal{E}_{ТРЭ} = \alpha \left[(\mathcal{E}_n + \mathcal{E}_x)^2 + (W_n + W_x)^2 \right], \quad (3)$$

где α — коэффициент, приводящий в соответствие размерность правой и левой частей формулы (3).

Поскольку активная и реактивная составляющие э/э связаны между собой выражением

$$W = \mathcal{E} \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (4)$$

где $\operatorname{tg} \varphi$ — средневзвешенный коэффициент мощности, то с учетом (4) формула (3) получает вид

$$\Delta\mathcal{E}_{ТРЭ} = \alpha \left(1 + \operatorname{tg}^2 \varphi \right) \left(\mathcal{E}_n^2 + 2\mathcal{E}_n \mathcal{E}_x + \mathcal{E}_x^2 \right). \quad (5)$$

Коэффициент определяется из выражения (5) для расчетного периода с пренебрежимо малым объемом хищений э/э: при $\mathcal{E}_x \approx 0$ и $W_x \approx 0$

$$\alpha = \frac{\Delta\mathcal{E}_{ТРЭ}}{(1 + \operatorname{tg}^2 \varphi) \mathcal{E}_n^2}. \quad (6)$$

Определение объемов хищений э/э. Подставив (5) в (1), получим квадратное уравнение

$$\mathcal{E}_x^2 + \left(2\mathcal{E}_n + \frac{1}{\alpha(1 + \operatorname{tg}^2 \varphi)} \right) \mathcal{E}_x + \mathcal{E}_n^2 + \frac{\Delta\mathcal{E}_{ком} - \Delta\mathcal{E}}{\alpha(1 + \operatorname{tg}^2 \varphi)} = 0. \quad (7)$$

Объем хищений э/э за расчетный период в энергосистеме есть вещественный корень квадратного уравнения (7)

$$\mathcal{E}_x = \frac{- \left(2\mathcal{E}_n + \frac{1}{\alpha(1 + \operatorname{tg}^2 \varphi)} \right) + \sqrt{\left(2\mathcal{E}_n + \frac{1}{\alpha(1 + \operatorname{tg}^2 \varphi)} \right)^2 - 4 \left[\mathcal{E}_n^2 + \frac{\Delta\mathcal{E}_{ком} - \Delta\mathcal{E}}{\alpha(1 + \operatorname{tg}^2 \varphi)} \right]}}{2}.$$

Технологический расход при хищении э/э

$$\Delta \mathcal{E}_x^{TP\mathcal{E}} = \alpha(1 + tg^2 \varphi) \mathcal{E}_x^2 \cdot k_3, \quad (9)$$

где k_3 — коэффициент нелинейности потерь э/э, рассчитываемый согласно выражению

$$k_3 = \frac{(\mathcal{E}_n + \mathcal{E}_x)^2}{\mathcal{E}_n^2 + \mathcal{E}_x^2}. \quad (10)$$

Объем хищений э/э с учетом технологического расхода э/э $\mathcal{E}_x^o$

$$\mathcal{E}_x^o = \mathcal{E}_x + \Delta \mathcal{E}_x^{TP\mathcal{E}} = \mathcal{E}_x + \alpha(1 + tg^2 \varphi) \mathcal{E}_x^2 \cdot k_3. \quad (11)$$

Оценка экономического ущерба от хищений э/э.

Вследствие краж энергосистема теряет в расчетном периоде

$$\mathcal{Z}_\lambda = T_\lambda \cdot \mathcal{E}_\lambda \text{ млн. грн.,}$$

где T_λ — тариф на э/э.

Расход условного топлива на выработку похищенной э/э

$$B_x = b_3 \cdot \mathcal{E}_x^o \text{ т.т.,}$$

где b_3 — удельный расход условного топлива на 1 отпущенный кВтч.

Сокращение объема хищений э/э на $\beta\%$ означает отключение от сети одного энергоблока рабочей мощностью $P_{\text{блока}}$, где

$$\beta = \frac{\mathcal{E}_{\text{блока}}}{\mathcal{E}_x^o} \cdot 100 = \frac{P_{\text{блока}} \cdot 8760 \cdot \text{КИУМ}}{\mathcal{E}_x^o} \cdot 100,$$

где КИУМ — коэффициент использования установленной мощности оборудования;

$\mathcal{E}_{\text{блока}} = P_{\text{блока}} \cdot 8760 \cdot \text{КИУМ}$ — среднегодовая выработка э/э энергоблока мощностью $P_{\text{блока}}$ МВт в расчетный период.

Пример. Расчет объема хищений э/э в ОЭС Украины в 1998 году.

За расчетный период с пренебрежимо малым объемом хищений э/э в ОЭС Украины принят 1991 год.

Коммерческие потери э/э в индуктивных счетчиках коммерческого учета, согласно формуле (2), составили в 1991 году

$$\Delta \mathcal{E}_{\text{ком}} = (1 + 0,5 + 0,02 + 0,002) \cdot 253,6 \cdot \frac{2,5}{100} = 6,79 \text{ млрд. кВтч (2,44%);}$$

в 1998 году

$$\Delta \mathcal{E}_{\text{ком}} = 1,072 \cdot 130,97 \cdot \frac{2,5}{100} = 3,51 \text{ млрд. кВтч (2,18%).}$$

Технологический расход э/э при полезном отпуске в 1991 году

$$\Delta \mathcal{E}_{TP\mathcal{E}} = \Delta \mathcal{E} - \Delta \mathcal{E}_{\text{ком}} = 25 - 6,79 = 18,21 \text{ млрд. кВтч.}$$

Величина коэффициента α в 1991 году, согласно выражению (6),

$$\alpha = \frac{\Delta \mathcal{E}_{TP\mathcal{E}}}{(1 + tg^2 \varphi) \mathcal{E}_n^2} = \frac{18,21}{1,045 \cdot 253,6^2} = 0,27 \cdot 10^{-3}.$$

Объем хищений э/э в 1998 году в ОЭС в соответствии с формулой (8)

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_x = & -\frac{1}{2} \left(2 \cdot 130,97 + \frac{1}{0,283 \cdot 10^{-3}} \right) + \\ & + \frac{1}{2} \sqrt{\left(2 \cdot 130,97 + \frac{1}{0,283 \cdot 10^{-3}} \right)^2 - 4 \left(130,97^2 + \frac{3,51 - 30,1}{0,283 \cdot 10^{-3}} \right)} = \\ & = 20,12 \text{ млрд. кВтч (12,49\%)} \end{aligned}$$

Таблица 1. Исходные данные расчета

№ п/п	Наименование показателя	Обозначение	Ед. измерения	Величина
1	Отпуск э/э с шин электростанций	$\mathcal{E}$	млрд. кВтч	161,07
2	Полезное потребление э/э	$\mathcal{E}_n$	млрд. кВтч	253,6
	• в 1991 году		млрд. кВтч	130,97
	• в 1998 году		млрд. кВтч	
3	Общие потери э/э	$\Delta \mathcal{E}$	млрд. кВтч	25,0
	• в 1991 году		млрд. кВтч	30,1
	• в 1998 году		млрд. кВтч	
4	Средневзвешенный коэффициент мощности	$tg \varphi / \cos \varphi$	о.е.	0,211/0,978
5	Допустимые нормы коэффициентов			
	• несинусоидальности напряжения	k_1	о.е.	0,05
	• несимметрии напряжения	k_2	о.е.	0,02
	• отклонения частоты	k_3	о.е.	0,002
6	Класс точности индуктивных счётчиков коммерческого учёта э/э	γ	%	2,5
7	Удельный расход условного топлива на 1 отпущенный кВтч.	b_3	г/кВтч	369,1
8	Коэффициент использования установленной мощности тепловых энергоблоков	КИУМ	о.е.	0,3
9	Регулируемый тариф на э/э	T_λ	коп./кВтч	9,72
10	Расчётный период	T	год	1

Коэффициент нелинейности потерь э/э по (10)

$$k_{\beta} = \frac{(130,97 + 20,12)^2}{130,97^2 + 20,12^2} = 1,3.$$

Технологический расход при хищении э/э

$$\Delta \mathcal{E}_x^{TP\beta} = \alpha \cdot (1 + tg^2 \varphi) \cdot \mathcal{E}_x^2 \cdot k_{\beta} = 0,283 \cdot 10^{-3} \cdot 1,045 \cdot 20,12^2 \cdot 1,3 = 0,155 \text{ млрд. кВтч.}$$

Объем хищений э/э с учетом технологического расхода

$$\mathcal{E}_x^o = \mathcal{E}_x + \Delta \mathcal{E}_x^{TP\beta} = 20,12 + 0,15 = 20,27 \text{ млрд. кВтч.}$$

Суммарный технологический расход э/э при полезном отпуске и при хищении э/э, согласно (5)

$$\Delta \mathcal{E}_x^{TP\beta} = \alpha \cdot (1 + tg^2 \varphi) \cdot (\mathcal{E}_n + \mathcal{E}_x)^2 = 0,283 \cdot 10^{-3} \cdot (130,97 + 20,12)^2 = 6,46 \text{ млрд. кВтч (4,0\%).}$$

Результаты расчетов объемов хищений э/э, коммерческих и технологических потерь в ОЭС в 1992, 1993, 1998 годах сведены в таблицу и представлены на рис.

Вследствие краж э/э ОЭС в 1998 году потеряла $\mathcal{E}_x = 9,72 \text{ коп/кВтч} \cdot 20,12 \cdot 10^4 = 1,96 \text{ млрд. грн.}$

Расход условного топлива на выработку похищенной э/э составил

$$B_x = 369,1 \text{ г/кВтч} \cdot 20,275 \cdot 10^9 = 7,48 \text{ млн. т.т.}$$

Если считать среднегодовую выработку э/э энергоблока 200 МВт в 1998 году на уровне

$$\mathcal{E}_{\text{блока}} = 200 \cdot 8760 \cdot 0,3 = 0,525 \text{ млрд. кВтч.}$$

то сокращение объема хищений э/э на $\beta\%$, где

$$\beta = \frac{\mathcal{E}_{\text{блока}}}{\mathcal{E}_x^o} \cdot 100 = \frac{0,525}{20,275} \cdot 100 = 2,6\% ,$$

означает отключение от сети одного энергоблока мощностью 200 МВт. Вырабатывали э/э, которая была похищена и никогда не будет оплачена

$$N_{\text{блоков}} = \frac{\mathcal{E}_x^o}{\mathcal{E}_{\text{блока}}} = \frac{20,275}{0,525} \approx 38 \text{ энергоблоков мощностью 200 МВт.}$$

Причина хищений э/э. По данным Минэнерго в 1998 году в Украине населению отпущено 23 млрд. кВтч э/э и выявлено 192144 случая хищений э/э общим объемом 870,6 млн. кВтч (3,8%). Кражу остальных 19,2 млрд. кВтч можно объяснить следующим образом.

Работники облэнерго часто идут на нарушение приказа Министра энергетики об отключении злостных неплательщиков, понимая все последствия отключения от сети потребителей. Огромная ответственность, которую принимают на себя работники облэнерго, нарушая приказ Министра и не отключая потребителей за неплатежи, естественно не бескорыстна. "Благодарность" за услугу оседает в их карманах, а неоплаченная э/э сносится в графу "технологический расход э/э". Облэнерго крайне выгодно показывать повышенный уровень ТРЭ в распределительных сетях. Отсутствие методики выявления объемов хищений э/э из общих потерь позволяет надежно спрятать "концы в воду", списать все на технологический расход э/э.

Таблица 2. Результаты расчета объемов хищений э/э ($\mathcal{E}_x$), суммарных технологических ($\Delta \mathcal{E}_{TP\beta}$) и коммерческих ($\Delta \mathcal{E}_{ком}$) потерь э/э в ОЭС Украины за период 1991-1998 гг.

Год	Отпуск э/э, $\mathcal{E}$	Потребл э/э, $\mathcal{E}_n$	Общие потери э/э, $\Delta \mathcal{E}$		Коммерческие потери э/э, $\Delta \mathcal{E}_{ком}$		Хищение э/э, $\mathcal{E}_x$		Суммарный ТРЭ, $\Delta \mathcal{E}_{TP\beta}$	
	млрд. кВтч	млрд. кВтч	млрд. кВтч	%	млрд. кВтч	%	млрд. кВтч	%	млрд. кВтч	%
1991	278.6	253.6	25.0	8.97	6.79	2.44	-	-	18.21	6.53
1992	252.6	227.5	25.1	9.94	6.1	2.41	-	-	19.0	7.52
1993	230.2	205.4	24.8	10.77	5.5	2.39	6.576	2.86	12.72	5.53
1994	203.2	179.2	24.0	11.8	4.8	2.36	9.156	4.5	10.04	4.94
1995	191.4	168.4	23.0	12.0	4.51	2.36	9.53	4.9	8.96	4.70
1996	189.5	164.3	25.2	13.3	4.4	2.36	12.0	6.33	8.8	4.64
1997	180.4	151.9	28.5	15.8	4.07	2.25	16.41	9.096	8.02	4.45
1998	161.07	130.97	30.1	18.7	3.51	2.18	20.12	12.49	6.46	4.0

Динамика уровней общих, суммарных технологических, коммерческих потерь э/э и объемов хищений э/э в ОЭС

