

821.3
Т30

А-21448

Министерство высшего и среднего образования
Белорусской ССР
БЕЛОРУССКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО
ЗНАМЕНИ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

ТЕВЕЛЕВИЧ И. И.

Научная библиотека

БНТУ



* 8 0 0 7 8 1 8 9 9 *

**МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ
ПОТЕРЬ ЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ
НИЗКОГО И СРЕДНЕГО НАПРЯЖЕНИЯ
(городов)**

(Специальность 05.275 — «Электрические сети и системы»)

(Диссертация написана на русском языке)

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

г. Минск — 1972 год

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
БЕЛОРУССКОЙ ССР

БЕЛОРУССКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

ТЕВЕЛВИЧ И.И.

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ
ПОТЕРЬ ЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ
НИЗКОГО И СРЕДНЕГО НАПРЯЖЕНИЯ
(городов)
(Специальность 05.275-
"Электрические сети и системы")
(Диссертация написана на русском языке)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук.

г. Минск - 1972 год

730
Диссертационная работа выполнена в Казахском отделении
ВГПИ и НИИ "Энергосетьпроект".

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор ПОСПЕЛОВ Г.Б.
кандидат технических наук,
доцент КЛИОНСКАЯ Р.И.

Ведущее предприятие - Всесоюзный научно-исследовательский
институт электроэнергетики (ВНИИЭ)

Автореферат разослан " 3 " III 1972 г.

Защита состоится " 7 " IV 1972 г. на заседании
Совета по присуждению ученых степеней по энергетическим
специальностям при Белорусском ордена Трудового Красного Знамени
политехническом институте. Дата защиты будет дополнительного
объявлена в газете "Вечерний Минск".

Заверенный и скрепленный печатью отзыв на автореферат
в 2-х экземплярах просим направить по адресу: г.Минск, 220027,
Ленинский проспект, 65, Белорусский политехнический институт,
Ученому секретарю Совета.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке БПИ.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ СОВЕТА-
КАНДИДАТ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК
ДОЦЕНТ

Л.Л.ЧЕРВИНСКИЙ

А-21448

В В Е Д Е Н И Е

Согласно директивам XXIII и XXIV съездов КПСС и решению Сентябрьского Пленума (1965 г.) ЦК КПСС новая хозяйственная реформа планомерно внедряется в разные отрасли промышленности и уже стала приносить свои плоды. Сейчас по этой системе планирования и экономического стимулирования работают десятки тысяч предприятий, в том числе энергосистемы Министерства энергетики и электрификации СССР.

В связи с этим снижение потерь энергии в электросетевом хозяйстве приобрело особую остроту, так как слагаемая потеря составляет большой удельный вес в себестоимости передачи энергии.

Однако желаемых результатов можно достичь лишь в случае, когда эксплуатационный персонал будет располагать возможностью оперативного контроля за потерями энергии в электросетях.

Это возможно только при таком методе расчета потерь энергии, когда не требуется большого количества исходных данных, а сам метод был бы прост, нетрудоемок и обеспечивал бы достаточную для практики точность.

Организации, разработавшие методы расчёта потерь энергии в электросетях: Московская кабельная сеть "Мосэнерго", ОРГРЭС-МЭС, Ленинградская кабельная сеть "Ленэнерго", Ленинградский инженерно-экономический институт имени П.Толляти, Академия коммунального хозяйства и другие внесли ценный вклад в теорию и практику расчётов потерь энергии в электросетях городов.

Однако до сих пор не разработан метод расчёта потерь электроэнергии, удовлетворяющий перечисленным требованиям.

Существующие методы, кроме метода Академии коммунального хозяйства, который очень трудоёмок, разработаны применительно к

кабельным сетям больших городов (Москва, Ленинград), а использование их для расчетов электросетей более мелких городов затруднительно. Причиной этого является специфичность рассматриваемой задачи.

В данной работе предпринята попытка дальнейшего развития и совершенствования методов расчета потерь энергии в электросетях низкого и среднего напряжения городов.

В работе, наряду с математическим анализом и теоретическими обобщениями, используются экспериментальные данные, конкретные технические расчеты и сопоставления, приводятся таблицы, кривые, схемы, формы для расчета потерь, анализ их и т.д.

Работа содержит шесть глав и два приложения, которые могут быть использованы предприятиями электросетей и проектными институтами для расчетов потерь энергии в электросетях городов.

СЛУЧАЙНАЯ ВЫБОРКА НИЗКОВОЛЬТНЫХ ЛИНИЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СРЕДНЕГО ПРОЦЕНТА ПОТЕРЬ ЭНЕРГИИ В НИЗКОВОЛЬТНЫХ СЕТЯХ ГОРОДА

Средний процент потерь активной энергии в низковольтной сети города по теории вероятности может быть определен расчетом части этой сети при условии, если низковольтные линии, попавшие в расчет потерь энергии, определены не произвольно, а по случайной выборке. Последняя характеризуется тем, что из всей низковольтной сети, подлежащей расчёту, выбирается на удачу какая-то её часть по способу: районированный случай - бесповторный отбор.

По этому способу все низковольтные сети города разбиваются на отдельные части (районы) по каким-либо признакам, например, по этажности застройки, территориальному признаку и т.д.

Для каждого района сети берется особая урна, в которую вкладываются билеты с номерами трансформаторных пунктов, входящих в данный район. Затем из каждой урны отдельно по одному вынимается соответствующее число билетов с соответствующей принятой одинаковой пропорции для каждого района.

По низковольтным линиям трансформаторных пунктов, попавших в расчет по случайной выборке, определяется процент потерь энергии в каждой линии, средний процент потерь энергии в каждом районе и средний процент потерь во всех районах, который и принимается для всей низковольтной сети города.

Репрезентативность выборки, обозначаемая в дальнейшем Δ и характеризующая испытываемую выборку, определяется

$$\Delta = \pm tM$$

где: t - берется из таблицы вероятности соответствующих t кратному M , например, для вероятности равной 0,683 значение $t = 1$, для вероятности 0,954 $t = 2$ и т.д.

M - математическое ожидание квадрата разности выборочной средней \bar{x} и генеральной средней \bar{x} результата всей выборки (стохастическая дисперсия), определяемой по формуле:

$$M = \{ (\bar{x} - \bar{x})^2 \} = M' \frac{100}{S_g} \sqrt{\frac{(S_g - 3) S}{100 \Psi_1 - \Psi_2^2}}$$

- где:
- S_0 - переданная электроэнергия за расчетный период времени по всем низковольтным сетям города, определяемая при расчете потерь энергии в сетях 6-10 кв, /квтч/;
 - S - переданная электроэнергия за расчетный период времени в низковольтных сетях, подсчитанная по случайным выборкам районов, /квтч/;
 - Ψ_1 - Процент случайной выборки для всех районов при первом расчете, %;
 - M' - приближенное значение математического ожидания /стохастической девиаты/, определяемое в низковольтных линиях, попавших в расчет по случайной выборке.

Казахское отделение института "Энергосетьпроект" выполнило для "Алма-Атаэнерго" первый расчет потерь энергии в электросетях города Алма-Аты по предлагаемому методу. При расчете низковольтных линий, попавших в случайную выборку, при проценте выборки, равном 10%, погрешность /репрезентативность/ Δ % составила незначительную величину, равную 0,1% для вероятности 0,997. С увеличением коэффициента пропорции выборки Ψ % уменьшается величина погрешности и наоборот.

В работе показана возможность определения процента случайной выборки для второго расчета $\Psi_2\%$ в зависимости от величины желаемой погрешности $\Delta\%$ и вероятности.

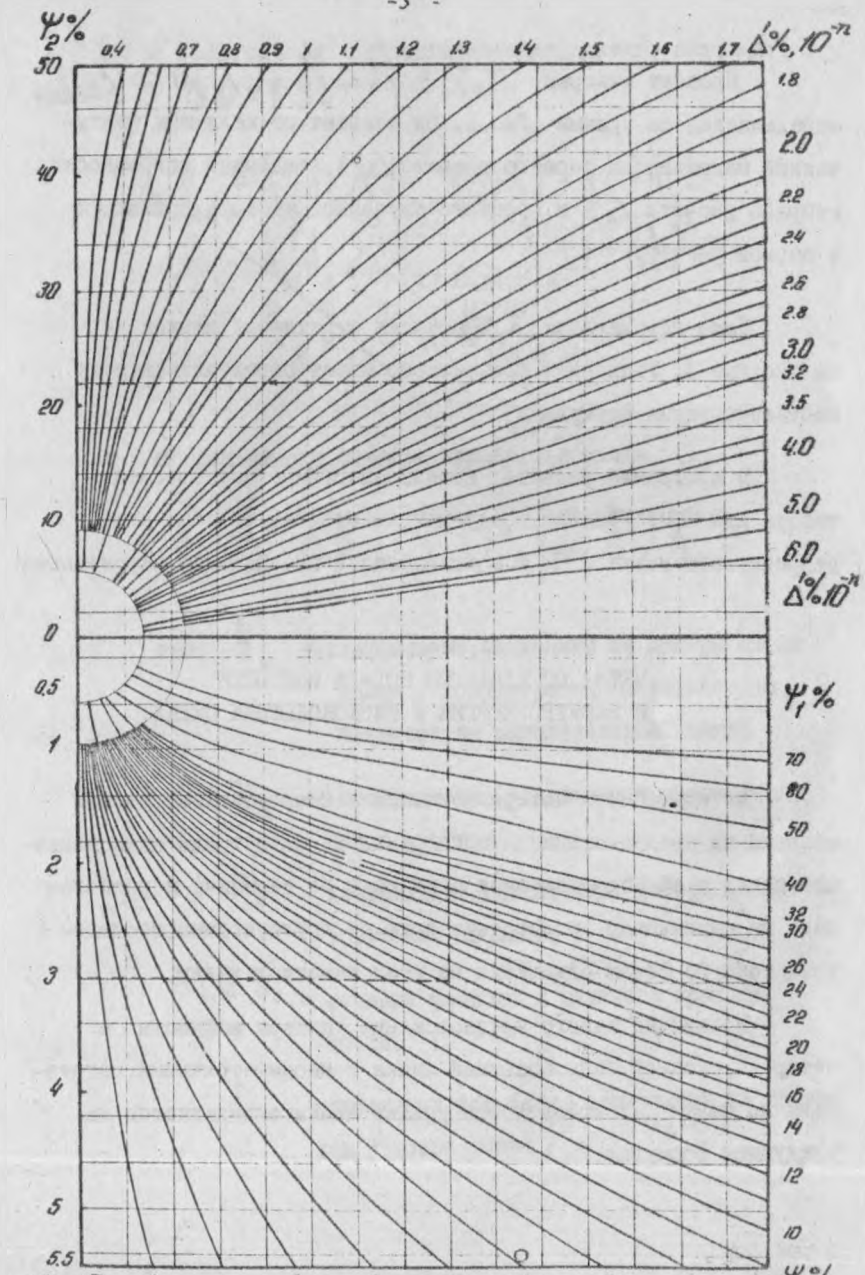


Рис. 1 Кривые $\Psi_2\% = f(\Delta\%, \Psi_1\% \text{ и } \Delta'\%)$

Процент выборки $\Psi_2\% = f(\Delta\%, \Psi_1\% \text{ и } \Delta'\%)$ определяется по кривым Рис. I. Он зависит от величины фактической погрешности первого расчета $\Delta\%$, заданной погрешности второго расчета $\Delta'\%$ и процента случайной выборки принятого в первом расчете.

Ключ определения $\Psi_2\%$ показан пунктирной линией на рисунке I. Указанный коэффициент может определяться и по соответствующим формулам.

В программе расчёта потерь энергии в электросетях города для ЭВМ "Урал-2" предусматриваются и расчёты ошибок репрезентативности и $\Psi_2\%$ в зависимости от значений вероятности.

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТЕРЬ МОЩНОСТИ И ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В НИЗКОВОЛЬТНЫХ СЕТЯХ.

Метод расчёта потери мощности в низковольтных линиях основан на предположении, что нагрузки на магистрали низковольтной линии и её ответвлениях одинаковы по величине и расположены на одинаковом расстоянии друг от друга, причем, несимметрия тока по фазам одинакова на всех участках линии.

Исходя из такого предположения, потеря мощности в четырехпроводной низковольтной линии с несимметричными нагрузками по фазам для любой конфигурации линии определяется по следующим формулам:

✓ для сечения нулевого провода, равного половине фазного - $\delta_{\phi} = 2\delta_0$.

$$\begin{aligned} \Delta P_{4П} &= K_N J_1 \Delta U_{\text{ср. ф. м.}} (1 + K'_0) K_N i = \\ &= K_N J_1 \Delta U_{\text{ср. ф. м.}} K'_0 (1 + K'_0) = \\ &= K_N K_{4П} J_1 \Delta U_{\text{ср. ф. м.}} \end{aligned}$$

б/ для любого сечения нулевого провода δ'_0

$$\Delta P_{\text{чп}} = K_N J_1 \Delta U_{\text{ср. ф. м.}} \left(1 + \frac{\delta_{\phi}}{2\delta'_0} K'_0\right) K_N i$$

где: K_N - коэффициент, зависящий от номера схемы линии / конфигурации / и количества нагрузок на магистральной линии;

K_N - коэффициент, учитывающий несимметрию тока по фазам;

K'_0 - коэффициент, учитывающий потерю мощности в нулевом проводе;

δ_{ϕ} и δ_0 - сечение фазного и нулевого провода, мм.кв.

J_1 - наибольший ток фазы, замеренный на головном участке линии / а/;

$i = 1 + k'_2 + k'_3$ - сумма токов трех фаз, выраженных в относительных единицах к наибольшему току фазы J_1 ,

где $k'_2 = \frac{J_2}{J_1}$; $k'_3 = \frac{J_3}{J_1}$;

J_2 и J_3 - токи на второй и третьей фазах, измеренные на головном участке магистрали, ам.

$k_{\text{нп}}$ - коэффициент, учитывающий несимметрию тока по фазам и потерю мощности в нулевом проводе, когда $\Delta \phi = 2 \Delta \phi_0$;

$\Delta U_{\text{ср. ф. м}}$ средняя фазовая потеря напряжения на магистрали низковольтной линии, подсчитанная по замерам / в/;

Коэффициенты k_0 ; k_n ; i ; k'_n и $k_{\text{нп}}$ находятся из разработанных автором таблиц в зависимости от величины несимметрии тока по фазам $(1, k'_2, k'_3)$.

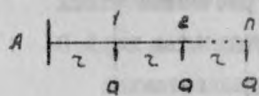
Коэффициенты k_m определены для разных схем и приведены в приложении. Всего рассмотрено автором 102 схемы, охватывающие все встречающиеся в практике случаи.

Коэффициенты определялись для воздушных, кабельных и кабельных с домовыми вводами линий, в зависимости от количества нагрузок на магистральных линиях и количества домовых вводов на магистрали и нагрузок на вводе.

Результаты расчетов сведены в соответствующие таблицы. В качестве примера в таблице I приведены некоторые расчетные схемы.

Расчетные схемы низковольтных линий

Схема №1



№5

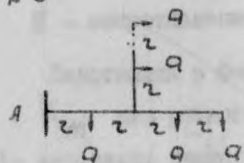
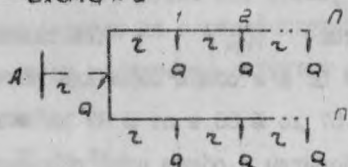
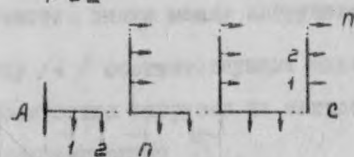


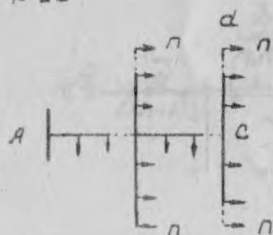
Схема №2



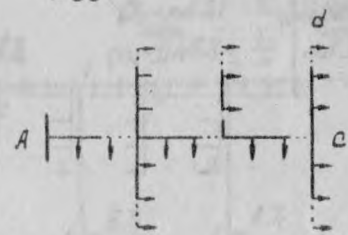
№22



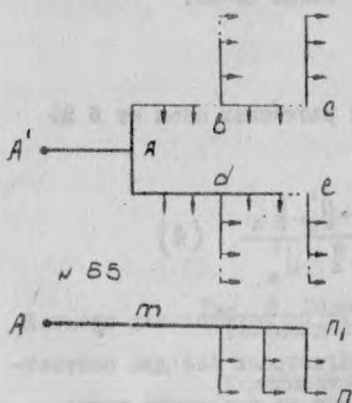
№26



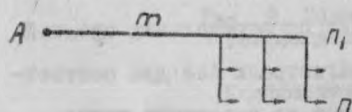
№33



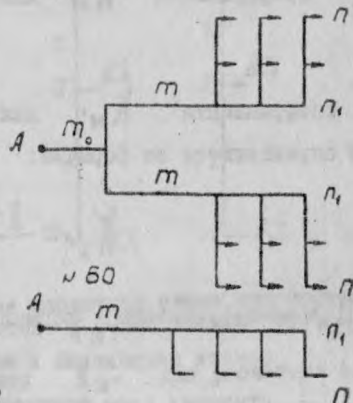
№39



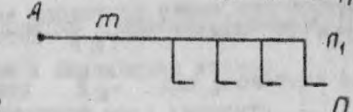
№55



№93



№60



В работе дан вывод формул по определению величин коэффициентов k_n для каждой расчетной схемы от № I до № 36 и в общем виде для расчетных схем от № 39 № 56; от № 57 до № 86 и от № 87 до № 102.

Формулы в общем виде приводятся ниже.

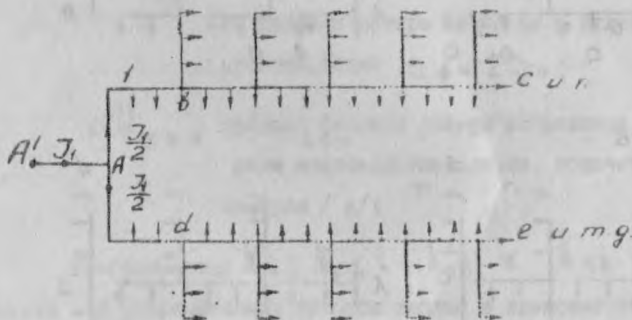


Рис. 2. Общая расчетная схема для определения коэффициента k_n' для схемы 39-56.

Коэффициенты k_n' для расчетных схем от № 39 до № 56 определяются по формуле:

$$k_n' = \frac{2 + U_n' k_n}{2 + U_n'} \quad (4)$$

где: U_n' - коэффициенты в формулах по определению средней потери напряжения в магистрали Авс для соответствующих схем, получаемые из выражения вида:

$$\Delta U_{CP} = \frac{J_i i z}{3} U_n'$$

K_n - коэффициенты для любой схемы с магистральными Авс, значения которых берутся из соответствующих таблиц в зависимости от количества нагрузок на магистральной линии;

M' - номера схем от 39 до 56;

Z - сопротивление участка линии между нагрузками, ом.

Подставляя в формулу /4 / соответствующие значения $U_{n'}$ и K_n для разного количества нагрузок на магистрали Авс определим значения коэффициентов $K_{n'}$

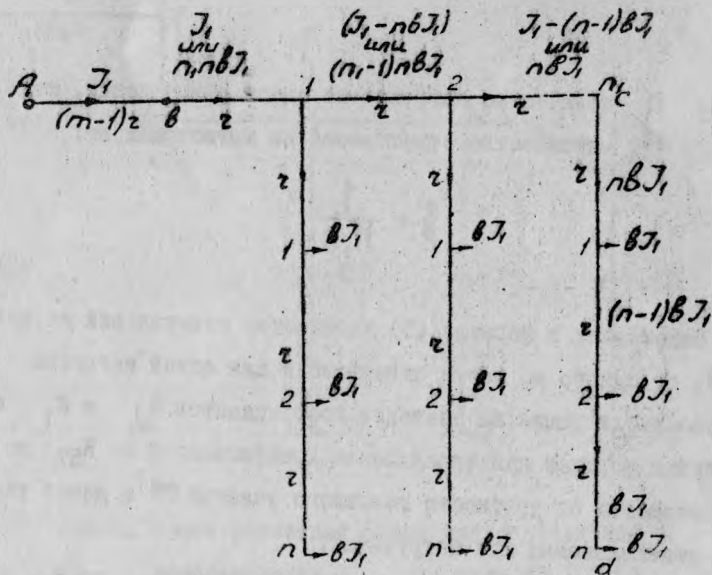


Рис. 3. Общая расчетная схема для определения коэффициентов K_n для схем 57-86.

Коэффициенты K_n для расчетных схем от № 57 до № 86 подсчитываются по формуле:

$$k_{n''} = \frac{k_{n_1} (m-1) + k_{n_1} [n_1 (1+2+\dots+(n_1-1) n \beta)] +}{m-1 + n_1 [1+2+\dots+(n_1-1)] n \beta +} \rightarrow$$

$$\rightarrow \frac{+ k_1 \beta [n^2 - (1+2+\dots+(n-1))]}{+ \beta [n^2 - (1+2+\dots+(n-1))]} \quad (5)$$

где: n — количество нагрузок на одном ответвлении, шт;

n_1 — количество ответвлений на магистрали, шт;

$$\beta = \frac{1}{n_1 n}$$

Подставляя в формулу (5) количество ответвлений на магистрали n_1 , от одного до шести ответвлений для одной нагрузки $n = 1$ и соответствующие им значения коэффициентов k_{n_1} и k_1 из таблиц, получим формулы для определения коэффициентов от K_{57} до K_{62} в зависимости от кратности головного участка m и длине участка между ответвлениями или нагрузками.

Аналогично определяются коэффициенты от K_{63} до K_{86} для количества нагрузок n равных 2, 3 и 4.

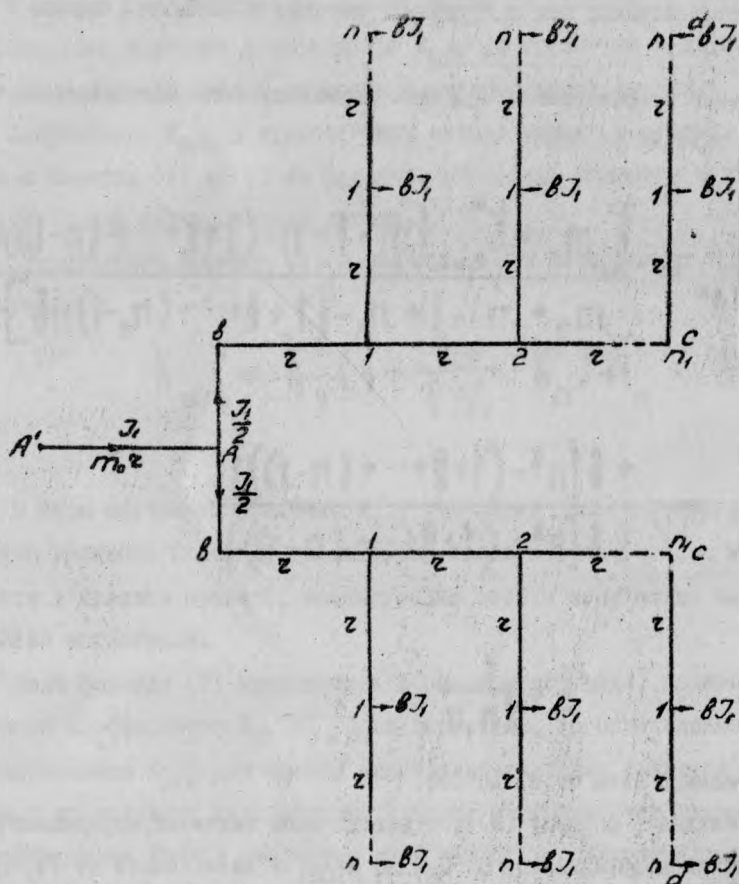


Рис. 4. Общая расчетная схема для определения коэффициентов $K_{N_{III}}$ для схем 87-102.

Определение коэффициентов $K_{N_{III}}$ для расчетных схем от № 87 до № 102. Эти схемы имеют разное количество ответвлений n_1 на магистральной линии и разное количество нагрузок n на ответвлении, причем длина головного участка схемы в m_0 и длина головного участка каждой из магистральных линий в m раз больше длины

между ответвлениями или нагрузками, которые принимаются одинаковыми.

Значения коэффициентов K_{N^m} для указанных схем определяются в общем виде по формуле:

$$K_{N^m} = \frac{k_{1,m_0} + k_{n_1,n}^m [m-1+n-(1+2+\dots+(n-1))n\delta]}{m_0 + m - 1 + n_1 - [1+2+\dots+(n_1-1)n\delta]} +$$

$$\frac{\delta [n^2 - (1+2+\dots+(n-1))]}{\delta [n^2 - (1+2+\dots+(n-1))]}$$

(6)

где:

$$\delta = \frac{1}{2n_1 n}$$

N^m - номера схем от 87 до 102.

Подставляя в формулу (6) соответствующие значения, определяют величины коэффициентов от K_{87} до K_{102} ; в зависимости от n , n_1 , m и m_0 для расчетных схем от 87 до 102.

Ряд существующих методов расчета потерь мощности предусматривают применение коэффициента $K_{M/H}$, равного отношению потери мощности к потере напряжения в линии, выраженных в процентах, а именно:

$$\Delta P\% = K_{M/H} \cdot \Delta U\% ;$$

В работе рассматривается преимущество предлагаемого метода определения величины коэффициента $K_{M/H}$ по сравнению с другими методами расчета потерь мощности и низковольтных линиях.

Коэффициент $K_{M/H}$ в предлагаемом методе входит составной частью в формулы (2) и (3) по определению потерь мощности в четырехпроводных низковольтных линиях.

Преобразовав формулу (3) и выделив в ней коэффициент $K_{M/H}$, получим:

$$K_{M/H} = K_n \left(1 + \frac{\Delta \phi}{2 \Delta \phi'} \cdot K'_0 \right) K_n \quad (7)$$

В этом случае коэффициент $K_{M/H}$ учитывает действительное сечение нулевого провода, несимметрию токов в фазах, потерю мощности в нулевом проводе, конфигурацию сети и количество нагрузок на магистрали.

Если формулу (7) представить в развернутом виде, подставив вместо коэффициентов K_n , K'_0 , K_n их выражения, то определение коэффициента $K_{M/H}$ для каждой низковольтной линии окажется сложным и практически невозможным. Однако, учитывая, что значения коэффициента $K_{M/H}$ в свернутом виде входит в основную формулу определения потерь мощности линии (3), расчет делается, исходя из принятых допущений, и сводится к выполнению нескольких арифметических действий (коэффициенты берутся из таблиц составленных автором).

Коэффициент $K_{M/H}$ является функцией нескольких переменных величин и имеет конкретное значение для каждой низковольтной линии. Исходя из этого, произвольное применение тех или иных его значений без расчета, на основе опыта эксплуатации района или участка

или определения средней его величины для района по расчету пяти характерных магистралей (Московская кабельная сеть "Мосэнерго") приводит к значительным погрешностям.

Расчеты показали, что если при определении коэффициентов $K_{M/H}$ не учитываются переменные значения, от которых зависит их величина, то возможные погрешности в расчетах потерь энергии находятся в следующих пределах:

- | | |
|---|-------------------|
| а/ при неучете количества
нагрузок на магистрали | от 8,5 до 31,0%; |
| б/ при неучете конфигурации
линии | от 14,5 до 26,5%; |
| в/ при неучете несимметрии
нагрузок по фазам | от 50 до 54% |

Указанные большие отклонения величин коэффициентов $K_{M/H}$ недопустимы в расчетах потерь. В предлагаемом методе коэффициенты $K_{M/H}$ в отличие от других методов, сразу же учитывают все перечисленные переменные значения, влияющие на его величину.

В работе подробно исследованы погрешности метода от несовпадения максимального тока в фазах ответвлений при несимметричных нагрузках по фазам с максимальным током фазы на головном участке магистральной низковольтной линии; от применения при выводе формул (2) и (3) средней потери напряжения в магистральной линии, подчитанной по потере напряжения в трех фазовых проводах, тогда как практически при расчетах в эти формулы подставляются средние значения потери напряжения, подчитанные по замерам в каждой фазе с учетом нулевого провода.

В первом случае расчеты показали, что погрешности от несовпадения максимального тока ответвлений с максимальным током головного участка линии в наиболее тяжелых случаях имеют незначительную

величину и составляют только 0,4% от потерь энергии в низковольтной линии.

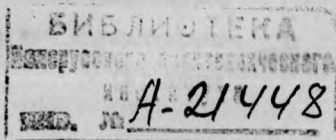
Во втором случае погрешности равны нулю, так как несмотря на разные значения потерь напряжений в фазовом проводе и фазовом и нулевом проводах четырехпроводной линии, средние их значения имеют одинаковую величину:

Рассматриваемый метод расчета потерь электроэнергии в низковольтных сетях позволяет выполнять расчеты на машиносчетных станциях и ЭЦМ. В приложении I приводятся таблицы, кривые, схем и соответствующие формы для выполнения расчетов на машиносчетных станциях.

Составлена программа расчета на ЭЦМ "Урал-2", по которой при расчете потерь энергии в низковольтных линиях машина выдает следующие данные: величины несимметрии токов по фазам, среднюю потерю напряжения в магистральной линии (в вольтах и процентах), переданную энергию, потерю энергии в четырех проводах линии и отдельно в нулевом проводе (в квтч и процентах), максимальную потерю мощности (в квт и процентах) и величину коэффициента $K_{M/H}$.

Если конфигурация низковольтной линии сложная и не представляется возможным подобрать коэффициент K_n по таблицам, то можно сложную линию разбить на несколько отдельных участков и их рассчитывать как отдельные линии. Расчет такой линии с участками предусматривается программой. Также предусматривается определение величины погрешности случайной выборки Δ для трех значений вероятностей 0,997, 0,954, 0,682.

Если низковольтная сеть города разбита на районы, то расчет потерь энергии производится для каждого района в отдельности, а затем обобщается для всего города.



МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТЕРЬ ЭНЕРГИИ В
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ НАПРЯЖЕНИЕМ - 6-10 КВ.

Метод расчета потерь электроэнергии в радиальных распределительных линиях напряжением 6-10 кв основан на предположении, что максимальный ток головного участка распределяется между подключенными трансформаторами пропорционально их номинальной мощности.

При математическом анализе принятого предположения выявлена следующая закономерность: на данной распределительной линии напряжением 6-10 кв отношение потерь электроэнергии в линиях к потерям электроэнергии в меди трансформаторов, выраженных в процентах или квтч, для любого расчета (первого, второго и т.д) есть величина постоянная.

Исходя из принятого предположения и выявленной закономерности, выведены соответствующие формулы для расчета потерь электроэнергии в линиях и обмотках трансформаторов распределительной линии в квтч или процентах.

Формулы для расчета потерь электроэнергии в линиях и трансформаторах имеют следующий вид:

В линиях распределительной линии:

$$\Delta A_{\lambda} = \lambda J_m^2 (\text{квт.час}) ; \quad \Delta A\% = \lambda \frac{J_m}{U_g} (\%) ;$$

В меди трансформаторов, подключенных к распределительной линии:

$$\Delta A_{TM} = \beta J_m^2 (\text{квт.ч}) \quad \Delta A\%_{TM} = \beta \frac{J_m}{U_g} (\%)$$

где: U_g - измеренное напряжение в начале головного участка распределительной линии, кв;

J_m - максимальный ток на головном участке распределительной линии (а)

Коэффициенты:

$$\lambda' = \lambda_1 z_0 \left(\frac{\text{квт.ч}}{a^2} \right); \quad \lambda = \lambda_1 z_0 \left(\frac{\% b}{a} \right);$$

$$\beta' = \beta_1 k' \left(\frac{\text{квт.ч.}}{a^2} \right); \quad \beta = \beta_1 k' \left(\frac{\% b}{a} \right)$$

где: z_0 - эквивалентное сопротивление линий на распределительной линии, определяемое отношением потерянной мощности в линиях при загрузке трансформаторов номинальным током, к квадрату суммы номинальных токов трансформаторов, ом;

k' - коэффициент, определяемый отношением суммы потерь мощности в меди трансформаторов, подключенных к распределительной линии, когда последние загружены номинальным током, к квадрату суммы номинальных токов трансформаторов, квт/а².

Преимущество данного метода заключается в том, что определение эквивалентного сопротивления z_0 и коэффициента k' в линиях и трансформаторах каждой распределительной линии 6-10 кв проводится не по току, замеренному на каждом трансформаторе в часы максимума, а по номинальному току трансформаторов, подключенных к распределительным линиям в соответствии с принятым допущением. Это уменьшает объем работ и позволяет в любое время выполнять расчеты по определению значений z_0 и k' .

Коэффициенты $\lambda_1, \lambda, \beta_1$ и β рассчитаны автором и сведены в соответствующие таблицы в зависимости от числа часов использования максимума T и $\cos \varphi$. В указанные коэффициенты составной частью входят значения числа часов потерь \mathcal{G} , полученные по кривым А.А. Глазунова: $\mathcal{G} = f(I_m \cos \varphi)$.

Если значения $\mathcal{G}_{\text{расч}}$ определены расчетным путем или по другим литературным данным, то вышеуказанные коэффициенты умножаются

на поправочный коэффициент, равный отношению расчетного $\tau_{\text{расч}}$ или принятого по литературным данным τ , взятому по кривым А.А. Глазунова.

В расчетах потерь электроэнергии на воздушных или кабельных линиях учитываются поправочные коэффициенты на их активные сопротивления от среднемесячной температуры воздуха или среднемесячной температуры почвы и отношения среднеквадратичного тока в проводе или кабеле к максимально допустимому току, т.е. от

$$J_{\text{с.к.}} : J_{\text{м.г.}}$$

В работе приводятся кривые для определения общего поправочного коэффициента в зависимости от отношения $J_{\text{с.к.}} : J_{\text{м.г.}}$ и среднемесячных температур воздуха или почвы. Анализ нагрузок городских сетей показал, что среднее значение указанного отношения равно 0,3-0,4, которое и целесообразно применять в расчете. Значения величин T и τ по соответствующим замерам определяются с учетом выходных дней.

Анализ выполненных расчетов потерь электроэнергии по предлагаемому методу в сравнении с точным методом показал:

а/ потеря энергии в линиях распределительной линии 6-10 кв имеет погрешность со знаками плюс и минус. По закону математической статистики при расчете значительного количества линий эти случайные погрешности стремятся к нулю;

б/ потеря энергии в стали трансформаторов неизменна и погрешность равна нулю;

в/ потеря энергии в меди трансформаторов, подключенных к распределительным линиям, имеет отрицательную систематическую

погрешность. Исходя из этого, для уменьшения погрешности при расчете величин β_1 и β_2 введены поправочные коэффициенты, равные 1,05;

г/ на примере расчета потерь электроэнергии 14 распределительных линий установлено, что средняя погрешность потерь предлагаемым методом во всех линиях составила +1,2%, меди трансформаторов - 4,5%, железе - 0%, а в целом по всему рассчитываемому участку сети - 0,8%.

При расчете же 117 распределительных линий 6-10кв в городе Алма-Ата средняя погрешность составила всего 0,014%.

Предлагаемый метод расчета потерь энергии в электросетях напряжением 6-10кв позволяет выполнять расчеты на машинно-счетных станциях и электронно-счетных машинах.

В приложении I приводятся таблицы, кривые и соответствующие формы для выполнения расчетов на машинно-счетных станциях.

Программа расчета на ЭЦВМ "Урал-2" предусматривает расчет потерь электроэнергии во всех элементах распределительной линии по числу часов использования максимума T и числу часов потерь τ для двух случаев, когда T и τ подсчитываются для каждой распределительной линии, когда значения T и τ , подсчитанные для фидера, принимаются для всех распределительных линий, подключенных к данному фидеру. Разница значений средних процентов потерь электроэнергии в электросетях города Алма-Ата, определенных для каждого случая применения величин T и τ , оказалась равной 0,07%.

При существовании в городе районов с разными напряжениями программой предусматривается отдельный расчет района напряжением 6кв и района напряжением 10 кв с итогами для каждого района в

отдельности и с общим итогом для двух районов.

Расчет потерь энергии производится для фидера и каждой распределительной линии, подключенной к данному фидеру, с подведением итога как по фидеру, так и по его распределительным линиям.

В соответствии с программой машина выдает на печать (в квтч и процентах) следующие данные: потери энергии в питающей линии (фидере), потери энергии на распределительной линии (в линиях, обмотках трансформаторов, железе трансформаторов, обмотках и железе трансформаторов, линиях и трансформаторах); переданную энергию по фидеру, распределительной линии, низковольтной электросети; потери энергии в низковольтной электросети; общую потерю энергии в низковольтной и в 6-10кв электросетях; уточненные погрешности случайной выборки для низковольтной электросети Δ и величину процента выборки ψ_2 для второго расчета в зависимости от величины желаемой погрешности, указанных в программе.

В конце расчета выдаются итоговые данные для всех электросетей города и отдельно для распределительных электросетей и фидеров, а также данные для заполнения сводной формы.

Соответствующими программами подсчитываются на ЭЦВМ "Урал-2" значения $T, T_2, \text{ и } K'$

ВЫВОДЫ

В соответствии с теорией вероятности расчет потерь электроэнергии в низковольтных электросетях города производится по среднему проценту потерь электроэнергии, подсчитанному в низковольтных линиях, попавших в расчет по случайной выборке.

Расчетом определяется погрешность (репрезентативность) Δ т.е. насколько точно подвергнутая расчетом часть сетей, попавших

в случайную выборку, воспроизводит все низковольтные сети города для заданной вероятности.

Если для первого расчета потерь электроэнергии в низковольтных сетях процент случайной выборки Ψ_1 % принимается произвольно, то для второго и последующих расчетов процент случайной выборки Ψ_2 % определяется по кривым рисунка I в зависимости от величины репрезентативности Δ и процента выборки Ψ_1 из первого расчета, а также заданных величин погрешности и вероятности для второго расчета, или подсчитывается по соответствующим формулам.

Чем больше процент случайной выборки, тем точнее расчет.

При определении среднего процента потерь электроэнергии в низковольтных электросетях города Алма-Аты, при десятипроцентной выборке погрешность для вероятности равной 0,997, составила всего $\pm 0,1\%$.

Предложенный метод свободен от целого ряда недостатков существующих методов, что выражается в основном в удобстве и простоте его применения для получения практически приемлимых результатов. Метод позволяет выполнять расчеты потерь мощности и электроэнергии в низковольтных линиях разных конфигураций по формулам, требующим минимального количества исходных данных, в том числе и замеров, т.е. замеров только на головном участке линии токов и напряжений в фазах и напряжений в конце магистральной линии.

Коэффициент $K_{м/н}$, как составная часть формулы (3), в отличие от других существующих методов учитывает конфигурацию сети, несимметрию токов по фазам, количество нагрузок на магистрали, действительное сечение нулевого провода и потерю в нем мощности.

Если низковольтные линии точно соответствуют расчетным схемам I, 2, 3 и т.д., то потери мощности в четырехпроводной линии с несимметричными нагрузками по фазам, подсчитанные с помощью указан-

ного коэффициента $K_{M/H}$ соответствуют действительной величине.

Подсчитанные автором и сведенные в таблицу коэффициенты i, K_M, K'_0, K'_H и K_{4H} в зависимости от величин несимметрии тока по фазам значительно снижают трудоемкость расчетов и объем исходных данных.

Изложенный метод расчета потерь мощности в низковольтных сетях прост, не требует усилий высококвалифицированного персонала, дает достаточную точность для решения практических задач; например, при расчете ЗI линии погрешность составила всего 2,6% по сравнению с точным расчетом.

В соответствии с математической статистикой с увеличением количества рассчитываемых линий, при наличии случайных погрешностей, уменьшается величина погрешности при расчете среднего процента потерь электроэнергии в низковольтных электросетях города, например, при расчете II7 - погрешность оказалась равной 0,014%.

Принятые допущения в методе по определению коэффициентов потерь дают некоторую погрешность, которая уменьшается в связи с использованием в расчете потерь мощности замеренных действительных потерь напряжения в магистрали.

Метод дает возможность определять "очаги потерь" в низковольтных линиях, попавших в расчет по случайной выборке.

Одним из преимуществ предлагаемого метода расчета потерь энергии в электросетях 6-10 кв по сравнению с известными методами является то, что определение эквивалентного сопротивления Z_0 в линиях и трансформаторах каждой распределительной линии 6-10 кв производится не по токам, замеренным на каждом трансформаторе в часы максимума, а по номинальным токам трансформаторов, подключенных

к распределительной линии в соответствии с принятым допущением, когда максимальный ток головного участка распределяется пропорционально номинальным мощностям трансформаторов. При этом точность расчета на каждой распределительной линии уменьшается по сравнению с точным расчетом, но общая погрешность при определении среднего процента потерь энергии в сети города, в связи со случайными погрешностями, стремится к нулю.

Определение эквивалентных сопротивлений рассматриваемым методом позволяет: выполнять расчеты на распределительных линиях по токам в часы максимума, замеренным в характерные сутки только на их головных участках; производить расчет эквивалентных сопротивлений в любое время до начала расчета потерь энергии, т.к. расчет не связан с замерами нагрузок; выводить для расчета потерь энергии соответствующие формулы, обеспечивающие точные расчеты, с учетом принятого допущения как для первого, так и для последующих расчетов.

Подсчитанные автором и сведенные в таблицы коэффициенты λ' , λ_1 , β' и β_1 в зависимости от числа часов использования максимума и значений $\beta_{0.9}$ значительно снижают трудоемкость расчетов потерь энергии в сетях 6-10 кв и объем исходных данных.

Коэффициенты λ' и λ_1 могут быть использованы и для точного расчета потерь электроэнергии при любом напряжении в одной ЛЭП или трансформаторе по их активным сопротивлениям.

Метод позволяет определить "очаги потерь" в линиях и трансформаторах 6-10 кв на каждой распределительной линии города.

Изложенный метод расчета потерь энергии дает достаточную точность для решения практических задач, например, при расчете 14 распределительных линий 6-10 кв, величина погрешности оказалась

равной 0,8% по сравнению с точным методом.

Эквивалентное сопротивление ζ_0 рассчитывается с учетом общего поправочного коэффициента, который определяется по кривым, составленным автором, в зависимости от средне-месячной температуры окружающей среды и величины отношения среднеквадратичного тока к максимально допустимому току провода или жилы кабеля. Расчеты показали, что это отношение по городу имеет величину порядка 0,3-0,4.

Методы позволяют выполнять расчеты потерь энергии в электросетях 10-6-0,4 кв на машиносчетных станциях и электронно-вычислительных машинах в соответствии с приложениями I и II.

Расчеты потерь электроэнергии в городских электросетях напряжением 10-6 и 0,4 кв могут выполняться предлагаемыми методами соответствующими предприятиями и проектными институтами.

В Казахском отделении института "Энергосетьпроект" под руководством автора была выполнена работа по расчету потерь энергии в электросетях напряжением 10-6 и 0,4 кв города Алма-Аты.

РАБОТЫ, ОПУБЛИКОВАННЫЕ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Тевелевич И.И. Метод расчета потерь электроэнергии в низковольтных сетях. Сборник КазНИИЭ "Проблемы общей энергетика и единой энергетической системы", вып.3, Алма-Ата, 1967г.
2. Тевелевич И.И. Приближенный метод расчета потерь электроэнергии в городских электросетях 6-10 кв. "Машиностроение и энергетика Казахстана", 1962г., № 6.

3. Тевелевич И.И. Метод расчета потерь электроэнергии в городских электросетях 6-10 кв и 0,4 кв. Тезисы докладов республиканской научно-технической конференции по вопросам повышения надежности и улучшения технико-экономических показателей электрических сетей. г.Алма-Ата, 1967г.
4. Тевелевич И.И. Случайная выборка низковольтных линий для определения среднего процента потерь энергии в низковольтных сетях города. Сборник № 3 трудов института ВГПИ и НИИ "Энергосеть-проект", М. 1971г.

Подписано к печати 4/II 72 г. УГ.02105.
Формат бумаги 60x90 1/16. Тираж 220. Цена беск.
Заказ 943. Отпечатано на ротопринтере в Типографии № 18
Госкомитета по печати Совета Министров Каз. ССР в цехе № 2.
г. Алма-Ата, ул. Советская, 22.

