

УДК 621.3.052.4

А.Н. Бесараб, канд. техн. наук,
В.Н. Невольниченко, канд. техн. наук,
М.Ю. Шабовта, канд. техн. наук,
Я.А. Соколов,
И.И. Тищенко

УМЕНЬШЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ГОРОДСКИХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ НАПРЯЖЕНИЕМ 10 (6) кВ ПУТЕМ ОПТИМИЗАЦИИ МЕСТ РАЗМЫКАНИЯ КОНТУРОВ

Аннотация. Представлены результаты уменьшения потерь электроэнергии путем оптимизации топологии схем электроснабжения части города Одессы через определение мест размыкания контуров распределительных сетей 6 кВ с помощью разработанного прикладного программного обеспечения, что позволило обработку значительных массивов текущей информации о параметрах и режимах работы электрических сетей.

Ключевые слова: энергосбережение, распределительные сети, установившийся режим, потери электроэнергии, оптимизация, контур, место размыкания, метод расчётных суток, метод Ньютона

О.М. Бесараб, канд. техн. наук,
В.М. Невольниченко, канд. техн. наук,
М.Ю. Шабовта, канд. техн. наук,
Я.О. Соколов,
І.І. Тищенко

ЗМЕНШЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ВТРАТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В МІСЬКИХ РОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖАХ НАПРУГОЮ 10 (6) кВ ШЛЯХОМ ОПТИМІЗАЦІЇ МІСЦЬ РАЗМИКАННЯ КОНТУРІВ

Анотація. Представлено результати зменшення втрат електроенергії шляхом оптимізації топології схем електропостачання частини міста Одеси через визначення місць розмикання контурів розподільних мереж 6 кВ за допомогою розробленого прикладного програмного забезпечення, що надало можливість обробки значних масивів поточної інформації щодо параметрів та режимів роботи електричних мереж.

Ключові слова: енергозбереження, розподільні мережі, усталений режим, втрати електроенергії, оптимізація, контур, місце розмикання, метод розрахункової доби, метод Ньютона

A. Besarab, Ph.D.,
V. Nevolnichenko, Ph.D.,
M. Shabovta, Ph.D.
Ya. Sokolov,
I. Tyshchenko

DECREASE POWER PROCESS LOSSES OF URBAN DISTRIBUTION NETWORKS 10 (6) kV BY OPTIMIZING CIRCUIT BREAKING POINTS

Abstract. Results of reducing energy losses by optimizing the power circuit topology of Odessa by definition circuit breakings points of distribution networks 6 kV by the developed application software, which enabled processing of large arrays of current information about the parameters and operating electric networks mode.

Keywords: energy saving, distribution networks, steady state mode, power losses, optimization, circuit, breaking point, method of settlement day, Newton's method.

Введение. В соответствии с Законом Украины «Про енергозбереження» [1] уменьшение технологических потерь электроэнергии является одним из приоритетных направлений развития энергетики. Особенную актуальность данная задача приобретает

в преддверии перехода энергорынка Украины на новую модель работы, предусматривающую наличие двухсторонних договоров между потребителями и поставщиками электроэнергии.

Предлагаемая методика оптимизации включает следующие этапы:

1) расчёт установившихся режимов городских распределительных сетей для зимнего и летнего графиков электрических нагрузок;

2) определение расчетных технологических потерь электроэнергии;

3) выявление фидеров со сверхнормативными потерями и оптимизация мест размыкания контуров (разрезов).

Исследование городских распределительных сетей выполнено на примере системы электроснабжения центральной части г. Одессы напряжением 6 кВ.

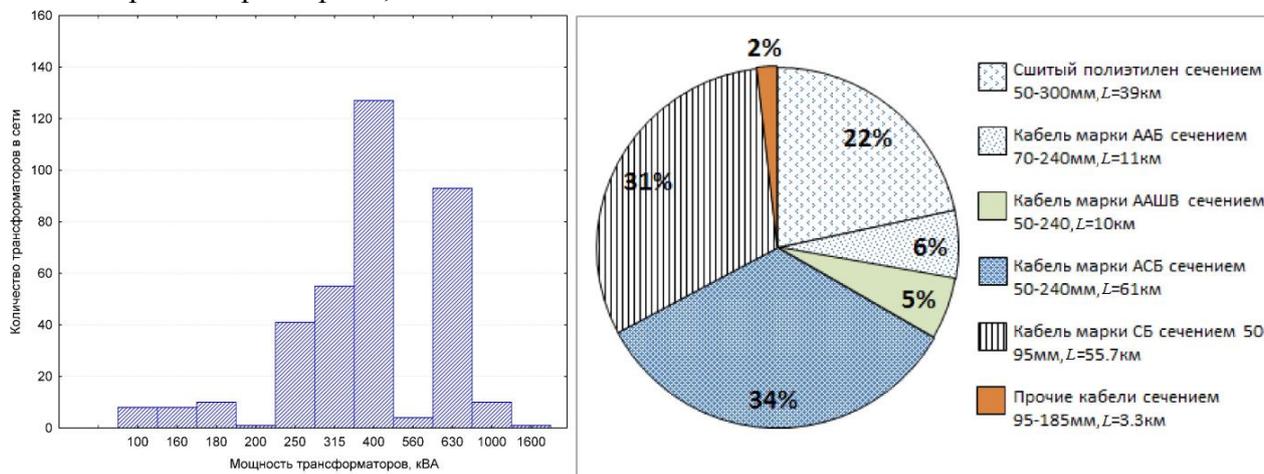


Рис.1. Гистограмма мощностей ТП 6/0,4 кВ и круговая диаграмма разновидностей кабельных линий исследуемого участка

Данный участок сети обладает рядом характерных особенностей:

- значительная протяжённость кабельных линий (КЛ) электропередачи (суммарная протяжённость составляет более 180 км) и широкий диапазон номинальных мощностей трансформаторных подстанций 6/0,4 кВ. Гистограмма мощностей трансформаторов и номенклатурный состав КЛ представлены на рис. 1;

- высокая степень износа электрооборудования, связанная с техническими и экономическими сложностями его замены;

- сложная многоконтурная петлевая схема электроснабжения, обусловленная необходимостью резервирования питания ответственных потребителей;

- отсутствие полной информации о реальных графиках нагрузки во всех необходимых узлах.

Математическая модель, используемая при исследовании. Зачастую технические потери не могут быть измерены, поэтому их значения получают аналитическим путем, применяя методы, основанные на использовании детерминированных [2, 4] или

вероятностных моделей графиков нагрузки в узлах [3].

В ходе расчета был использован метод расчётных суток [2], который предусматривает использование реальных графиков в узлах нагрузки, часть которых была получена из АСКУЭ энергоснабжающей организации, а часть снята экспериментальным путём с использованием специального аппаратно-программного комплекса [5].

В настоящее время существуют эвристические методы расчёта, основанные на применении нейронных сетей и эволюционных алгоритмов, которые позволяют получить достоверные результаты в условиях неполноты исходных данных, но и они обладают рядом недостатков [6 – 8]. В ходе проведенных расчетов сведения о недостающих графиках нагрузки определялись исходя из предположения о достоверности графиков нагрузок в ключевых узлах энергосистемы [9].

Расчёт установившегося режима выполнялся с применением метода Ньютона, который имеет высокую скорость сходимости и

получил широкое распространение при решении прикладных задач электроэнергетики.

Поскольку при решении данной задачи требуется обработка большого объема информации в среде программирования LabVIEW было разработано специализированное прикладное программное обеспече-

ние *D-Graph.vi*, интерфейс которого представлен на рисунке 2.

Программа *D-Graph.vi* имеет ряд существенных преимуществ:

– позволяет осуществлять обработку больших массивов данных и выполнять построение графиков нагрузки (P , Q , S);

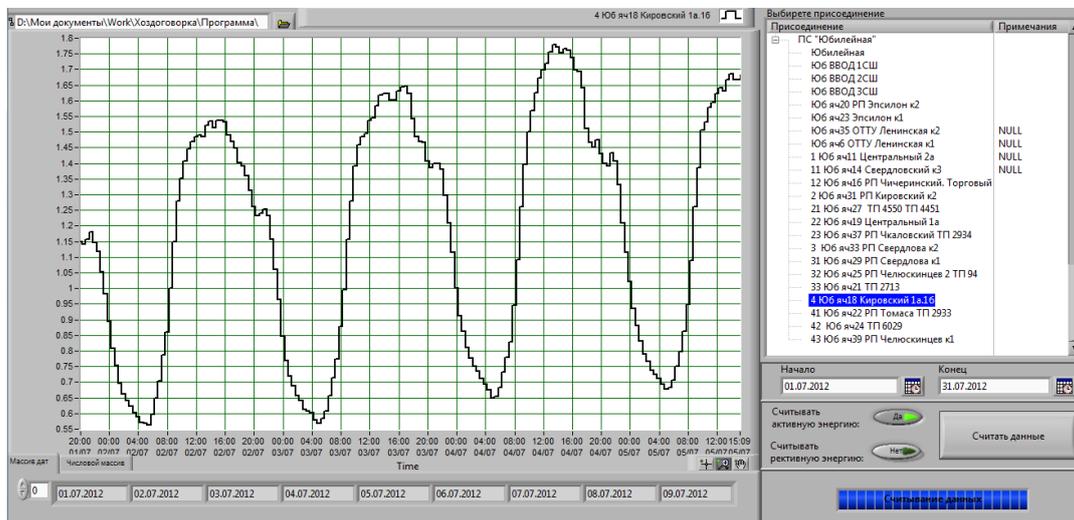


Рис. 2. Интерфейс программы *D-Graph.vi*

– обеспечивается простота масштабирования, возможность расширения базы данных;

– открытость исходного кода, что позволяет оперативно вносить необходимые изменения с целью расширения числа действий, выполняемых программой, внедрения новых функций;

– определение квадрата коэффициента формы, расчёта потреблённой энергии за сутки, месяц, выбранный период, построение среднесуточного и характерного графиков нагрузки в относительных или именованных единицах.

Результаты расчёта установившегося режима. Расчёт установившегося режима показал, что суммарные потери активной и реактивной мощности за характерный зимний месяц составляют 2860 кВт и 6677 кВАр соответственно. При этом, основная доля потерь активной мощности приходится на продольные потери в кабельных линиях, что открывает широкие возможности по оптимизации рабочих режимов.

Гистограмма распределения потерь по фидерам за зимний и летний период времени, а также структура потерь приведена на рис. 3 и рис. 4 соответственно.

Проведенные расчёты позволили выявить тринадцать перегруженных кабелей.

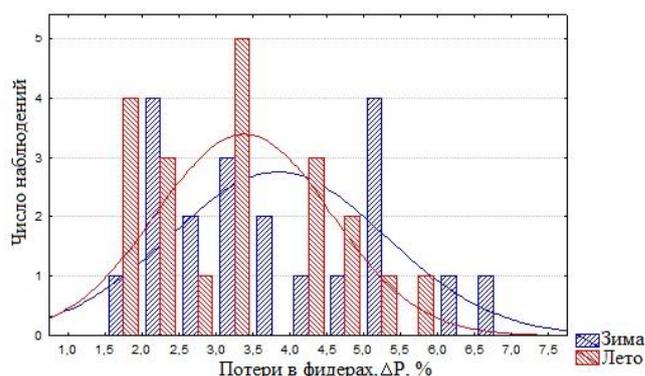


Рис. 3. Потери активной мощности в фидерах за зимний и летний характерный месяц



Рис. 4. Структура потерь активной и реактивной мощностей в исследуемой сети

Оптимизация режимов выполнялась исходя из следующих условий и допущений:

- оптимальная схема может отличаться для режимов наибольших и наименьших нагрузок, однако возможность оперативного изменения топологии схемы в течение суток исключена и поэтому целевая функция принимает вид

$$F = \sum \Delta W_{\text{акт.}j} \rightarrow \min, \quad (1.1)$$

где $\Delta W_{\text{акт.}j}$ – потери активной энергии за сутки в j -ом фидере, кВт·ч;

- ограничением является условие того, что преобразования топологии схемы не должны приводить к перегрузке кабельных линий $I'_{\text{доп}} \geq I_{\text{расч}} \cdot A$.

Оптимизация проводится путём последовательного определения оптимальных мест размыкания на каждом из участков распределительной сети с использованием принципа оптимальности Беллмана. При этом необходимо учитывать, что оптимальные точки размыкания могут быть различ-

ными для режимов наибольших и наименьших нагрузок. Поскольку возможность оперативного изменения топологии схем в течение суток отсутствует, то для размыкания выбирается та точка, которая обеспечивает минимальные интегральные потери электроэнергии за сутки.

Для выполнения значительного объёма расчётов использовалась специализированная программа *Regim*, разработанная на кафедре электроснабжения и энергоменеджмента ОНПУ [9].

В результате оптимизации суммарные потери активной мощности за характерный зимний месяц удалось снизить на 232,7 тыс. кВт·ч, а за летний – на 177 тыс. кВт·ч. При этом за счёт изменения потокораспределения удалось также сократить количество перегруженных кабелей до семи.

Как видно из рис.5 величина потерь активной мощности в распределительной сети после оптимизации уменьшилась на 12,1%.



Рис. 5. Структура потерь активной и реактивной мощностей в распределительной сети после оптимизации

Выводы по работе. Использование детерминированного метода расчётных суток даже в условиях неполноты данных о графиках электрических нагрузок в некоторых узлах позволяет получить приемлемые результаты расчёта, что подтверждается исследованиями, описанными в [2].

Оптимизация топологии распределительных сетей центральной части г. Одессы позволяет существенно снизить потери активной мощности, что соответствует годовой экономии 2458 МВт·час. Следует отметить, данное мероприятие не требует капитальных вложений.

Структура и особенности, присущие распределительным сетям г. Одессы, свойственны также сетям большинства крупных городов Украины. Опыт, освещённый в данной статье, может быть использован при решении аналогичных задач и является полезным с точки зрения интеграции научных методов в управлении режимами сетей.

Список использованной литературы

1. Україна. Закони. «Про енергозбереження» N74/94-ВР [Текст] : [прийнятий ВР 01.07.1994р., остання редакція 09.05.2015] : офіц. текст. – Київ: 2015. – (актуальний закон).

2. Железко Ю.С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии: Руководство для практических расчетов / Ю.С.Железко. – Москва: ЭНАС, 2009. – 456 с.: ил.

3. Р 50—072—98. Методика розрахунку технологічних втрат електроенергії в мережах електропостачання напругою від 0,38 до 110 кВ включно [Текст]. – Київ, Держстандарт України. – 1999. – 65 с.

4. СОУ-Н ЕЕ 40.1-37471933-54:2011 Визначення технологічних витрат електричної енергії в трансформаторах і лініях електропередавання. Методика. Нормативний документ Міненерговугілля України. [Текст]. – Київ: – 2011. – 61 с.

5. Бесараб А.Н. Аппаратно-программный комплекс для анализа показателей качества электроэнергии [Текст] / А.Н. Бесараб, Я.А. Соколов // Электромашинобуду-

вання та електрообладнання. – Киев: – 2009. – Вып. 74. – С. 53-57.

6. Тищенко, И.И. Сравнительный анализ применения эволюционных алгоритмов для решения задач оптимального распределения ресурсов в энергетике [Текст] / И.И. Тищенко, М. В. Короткова // Электротехнические и компьютерные системы. – Одесса: – 2015. – Вып. 20 (96) – С. 74-79

7. Манусов В.З. Модель прогнозирования потерь мощности в электрических сетях энергосистемы [Текст] / В.З. Манусов, Ю.Б. Заиграева // Энергетика. – Новосибирск: – 2007. – С. 51 – 55.

8. Баламетов А.Б. О применении нейронных сетей при расчётах установившихся режимов электрических сетей [Текст] / А.Б. Баламетов, Э.Д. Халилов // Проблемы электроэнергетики. – Баку: – 2009. – Вып. 1 – С. 20-30

9. Бесараб А.Н. Способ расчёта потерь электроэнергии в распределительных сетях потребителей [Текст] / А.Н. Бесараб, В.Л. Беляев, В.Н. Невольниченко, М.Ю. Шавбота // Электромашинобудування та електрообладнання. – Киев: – 2006. – Вып. 67. – С. 55-62.

Получено: 25.02.2016

References

1. Ukraina. Zakoni. “Pro energozberezhenyia” N74/94-VR. Priyniaty VR 01.07.1994, ostannya redakciya 09.05.2015. [Law of Ukraine “About the energy saving” (01.07.1994), last edition 09.05.2015] (In Ukrainian)

2. Zhezhelenko Yu.S. Poteri elektroenergii. Reaktivnaya moshchnost. Kachestvo elktroenergii: Rukovodstvo dlya prakticheskikh raschetov [Electric power losses. Reactive power. Quality of electric power: Manual for practical calculations]. (2009), ENAS Publ., Moscow, Russian Federation (In Russian)

3. P 50-072-98 Metodika rozrahunku tehnologichnih vtrat elektroenergii v merezhah elektropostachannya naprugoy vid 0,38 do 110 kV vkluchno. [The method of calculation of technological losses of electricity in power networks with voltage from 0.38 kV to 110 kV in-

clusive. P 50-072-98]. (1999) *Derzhstandart of Ukraine*, Kiev, Ukraine, 65 p. (In Ukrainian)

4. SOU-N EE 40.1-37471933-54:2011 *Viznachennya tehnologichnih vitrat elektrichnoi energii v transformatorah I linyah elektropredavannya. Metodika*. [The definition of the technological losses of electric power in transformers and power lines. Methodology. Normative document of Ukraine]. (2011) *Ministry of energy*, Kiev, Ukraine, 61 p. (In Ukrainian)

5. Besarab A.N. *Apparatno-programmnyy kompleks dlya analiza pokazateley kachestva elektroenergii* [Hardware-software complex for analysis of the power quality], (2009), *Electromashinobuduvannya ta elektroobladnannya Publ.*, Kiev, Ukraine, vol.74, pp. 53-57 (In Russian)

6. Tyshchenko I.I. *Sravnitel'nyy analiz primeneniya evolucionnih algoritmov dlya resheniya zadach optimal'nogo raspredeleniya resursov v energetike* [Comparative analysis of applications for evolutionary algorithms in problems of an optimal allocation of resources in energetics], (2015), *Elektrotehnicheskie I komputernie sistemi Publ.*, Odessa, Ukraine, vol.20(96), pp.74-79 (In Russian)

7. Manusov B.Z. *Model' prognozirovaniya poter' moshchnosti v elektricheskikh setyakh energosistemi* [Forecast model of power losses in electric networks of power systems], (2007), *Energia Publ.*, Novosibirsk, Russia, pp. 51-55 (In Russian)

8. Balametov A.B. *O primenenii neyronnih setey pri rashchetah ustanovivshihsysya rezhimov elektricheskikh setey* [About the application of neural networks for calculation of the established modes of electric networks], (2009), *Problems of power industry Publ.*, Baku, Azerbaijan, vol.1, pp.20-30 (In Russian)

9. Besarab A.N. *Sposob rascheta poter' elektroenergii v raspredilitel'nykh setyakh potrebitel'nykh* [Method of energy losses calculation in consumer's distribution networks], (2006), *Electromashinobuduvannya ta elektroobladnannya Publ.*, Kiev, Ukraine, vol.67, pp. 55-62 (In Russian)



Бесараб
Александр Николаевич,
к.т.н., доц.,
зав. каф. электроснабже-
ния и энергетического
менеджмента
ОНПУ
тел.: (048) 705-85-67.
E-mail: al_besarab@ukr.net



Невольниченко
Валентин Николаевич
к.т.н., доц. каф. электро-
снабжения и энергетиче-
ского менеджмента
ОНПУ
тел.: (048) 705-85-48.
E-mail: vn_n@ukr.net



Шабовта
Михаил Юрьевич
к.т.н., доц. каф. электро-
снабжения и энергетиче-
ского менеджмента
ОНПУ
тел.: (048) 705-85-67
E-mail: poststudent@ukr.net



Соколов
Ярослав Александрович
ст. пр. каф. электро-
снабжения и энергетиче-
ского менеджмента
ОНПУ
тел.: (048) 705-85-12
e-mail: Ainkurn@bk.ru



Тищенко
Иван Иванович,
ас. каф. электро-
снабжения и энергетиче-
ского менеджмента
ОНПУ
e-mail: it91@ukr.net