

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 МІСЬЦЬ 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.

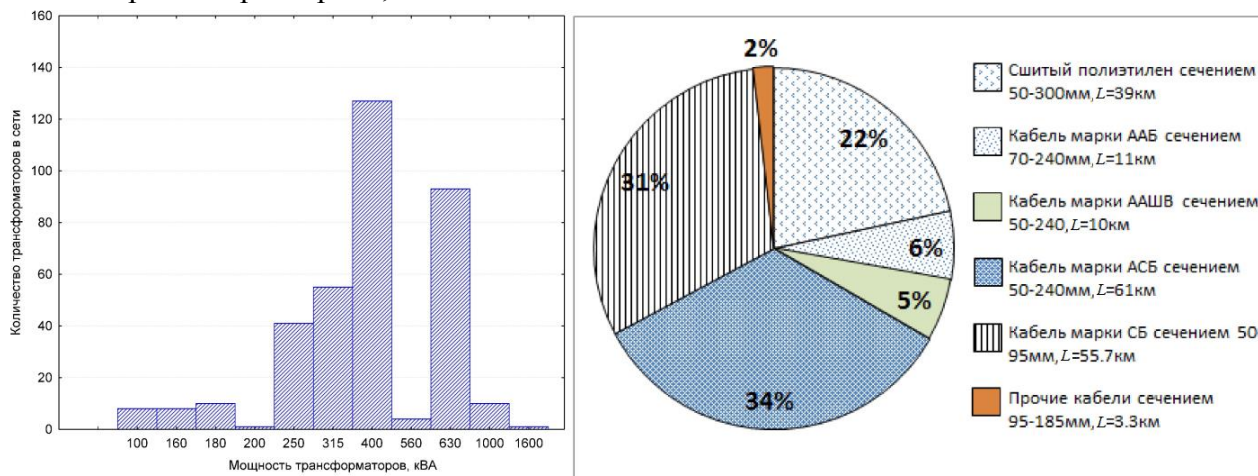


Рис.1. Гистограмма мощностей ТП 6/0,4 кВ и круговая диаграмма разновидностей кабельных линий исследуемого участка

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 ( $P$ ,  $Q$ ,  $S$ );

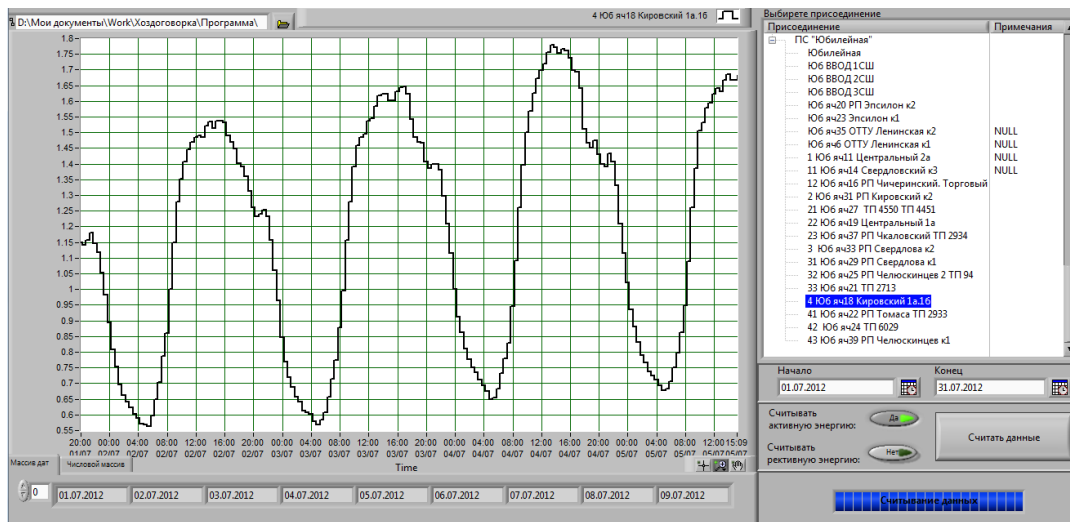


Рис. 2. Интерфейс программы *D-Graph.vi*

– 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.

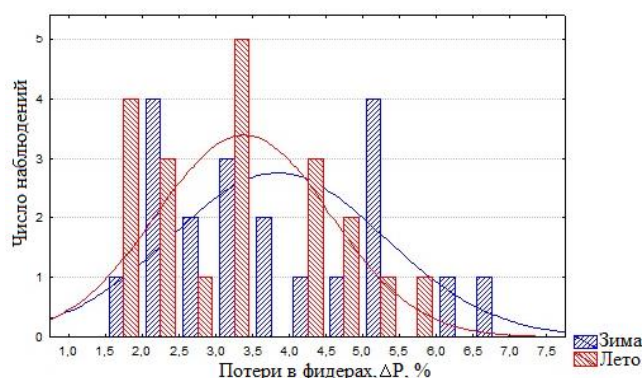


Рис. 3. Потери активной мощности в фидерах за зимний и летний характерный месяц



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 витрат 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 energozberezhenya” 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. Р 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](mailto: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](mailto: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](mailto: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](mailto:Ainkurn@bk.ru)



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