

УДК 621.316.11

## ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ СЕЛЬСКИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ С ВОЗОБНОВЛЯЕМЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ЭНЕРГИИ

Заболотный А.П., к.т.н.,

Дьяченко В.В., к.т.н.,

Даус Ю.В., аспирант\*

*Запорожский национальный технический университет, Украина*

Телефон: (061)7698281

**Аннотация** - предложен подход к формализации процесса формирования структуры сельской электрической сети (СЭС) при ее проектировании и модернизации в условиях присутствия в ней возобновляемых источников электрической энергии (ВИЭ), который позволяет оптимизировать структуру сети с точки зрения снижения годовых приведенных затрат, а также исключить влияние фактора субъективизма проектировщика на оптимальность принятых решений.

**Ключевые слова** формализация, сельские электрические сети, возобновляемые источники энергии, структура.

*Постановка проблемы.* В современных условиях роста тарифов и цен на энергоносители агропромышленные комплексы нуждаются в новых источниках электрической энергии. Это связано с тем, что сельские электрические сети, как известно, отличаются большой протяженностью, разветвленностью при сравнительно малой передаваемой мощности, а также использованием низких классов напряжения. В связи с этим наиболее широкое внедрение получают ветроэлектростанции, гелиоустановки, малые гидроэлектростанции и т.д.

Однако агропромышленные комплексы при использовании электроустановок на основе альтернативных источников энергии сталкиваются с рядом проблем. Так, если вопросы оценки потенциала солнечной, ветровой энергии и энергии рек достаточно подробно решены, то при подключении электростанции к существующей сети возникает задача поиска места ее подключения[1]. Чаще всего такие источники генерации подключаются к СЭС несогласованно, что приводит к сложности управления и прогнозирования режимов работы сетей,

---

©Заболотный А.П., Дьяченко В.В., Даус Ю.В.,

\* Науковий керівник – Заболотний А.П., к.т.н., доцент

росту составляющей потерь активной электрической энергии, так как структура их перестает быть оптимальной с точки зрения минимума годовых приведенных затрат. Таким образом, оптимизация структуры электрической сети, содержащей ВИЭ, является актуальной.

*Анализ последних исследований.* Определяющим фактором формирования схемы электрической сети является местоположение источника питания и трассы прокладки ее участков, которые получены как результат оптимизации топологической задачи с учетом метрических ограничений, обусловленных расположением природных и технологических объектов [2]. Что касается установки возобновляемых источников энергии, то их мощность обусловлена потенциалом первичной энергии, социально-экологическими ограничениями, а также техническими факторами (установленной мощностью, коэффициентом полезного действия, напряжением генерации и др.). Последние тесно связаны с конструктивными и технико-экономическими показателями сети.

Существующие подходы к оценке эффекта от внедрения ВИЭ основаны на вычислении следующих технико-экономических показателей: начальные капитальные вложения на строительство энергетического объекта; стоимость земли, отведенной под объект, стоимость мероприятий на охрану окружающей среды, затраты на демонтаж объектов при выводе основных фондов или реконструкции; текущие затраты на обслуживание и ремонт, а также амортизационные отчисления на реновацию основных фондов объекта, которые представляют собой затратную часть проекта.

Очевидная взаимосвязь между технико-экономическими показателями электрической сети и возобновляемыми источниками электроэнергии требует разработки новой модели электрической сети, которая будет положена в методологическую основу ее оптимизации с учетом применения всего ряда альтернативных источников электроэнергии.

*Цель статьи.* Предлагается применить метод эквипотенциальных поверхностей с целью формирования оптимальной структуры электрической сети сельскохозяйственного района, содержащей ВИЭ с точки зрения минимума номинальной составляющей потерь электрической энергии и годовых приведенных затрат.

*Основная часть.* Построение потенциальной поверхности проводится по алгоритму, предложенному в [3, 4], а процедуру определения значения координат установки источника (трансформаторная подстанция) СЭС, содержащей ВИЭ, можно представить в виде следующего алгоритма:

- на первом этапе строиться потенциальная поверхность для электроприемников района;

- на втором этапе строится поверхность для ВИЭ;
- затем производится наложение этих поверхностей;
- на суммарной поверхности выделяется максимум функции, в координатах которого и будет расположен источник питания СЭС.

Важным моментом в определении этих координат является учет зон запрета прокладки линий и установки источников питания.

Предложенный алгоритм был апробирован на примере участка СЭС площадью 12 км<sup>2</sup> с расчетной нагрузкой по полной мощности 4,4 МВА. План электрических сетей напряжением 35 кВ (питающий участок) и 10 кВ (распределительный участок) представлен на рис.1.

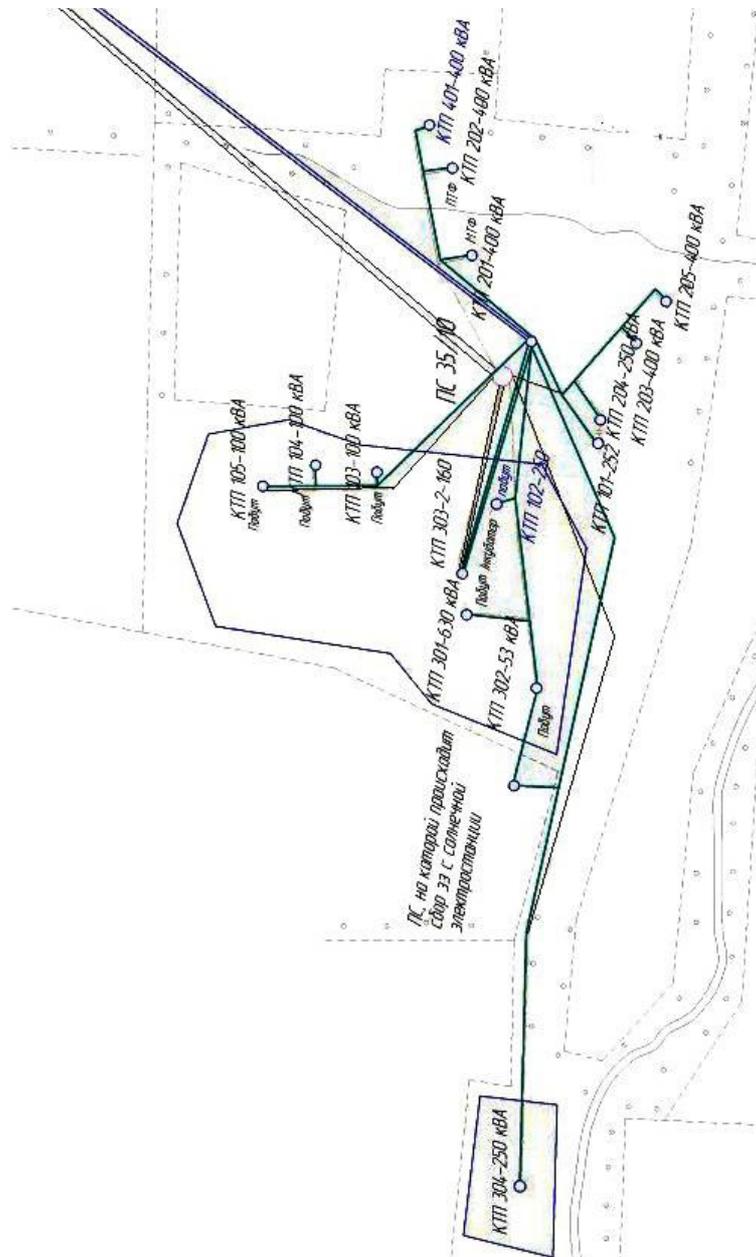


Рис. 1. Система электроснабжения сельскохозяйственного района:

- — существующая электрическая сеть;
- — оптимизированная электрическая сеть.

Источником питания является двухтрансформаторная подстанция с трансформаторами 2 х ТМН – 4000/35. Электрические сети напряжением 35 и 10 кВ конструктивно реализованы воздушными линиями, проложенными на железобетонных опорах, типа АС.

В процессе исследования были рассмотрены следующие варианты электрической сети:

первый (I) – существующая система электроснабжения сельскохозяйственного района с указанными выше параметрами;

второй (II) – первый вариант с подключением солнечной электростанции из 1680 фотопанелей фирмы «Kvazar» Украина мощностью 250 Вт;

третий (III) – электрическая сеть, полученная на основе оптимизации местоположения источника питания с учетом подключения ВИЭ.

На рис. 2-4 приведены результаты численного эксперимента для каждого из рассматриваемых вариантов структуры СЭС.

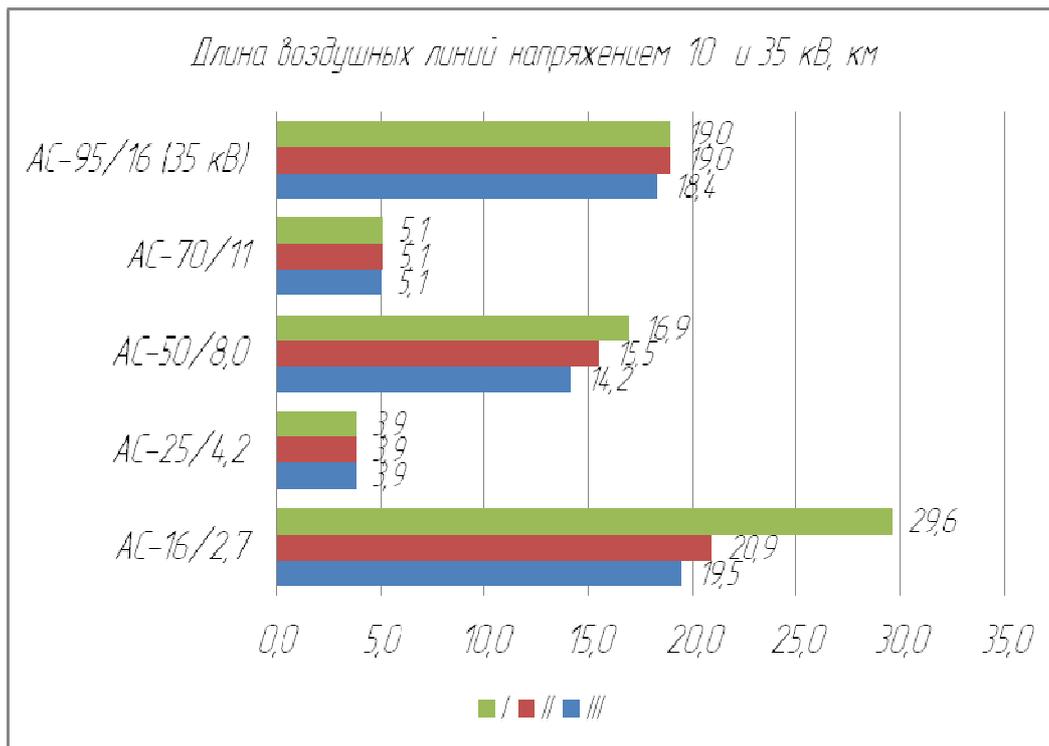


Рис.2 Суммарная длина ВЛ 10 кВ и ВЛ 35 кВ.

При подключении к существующей сети солнечной электростанции требуется сооружение дополнительных ВЛ напряжением 10кВ, которые присоединяют их к сети, однако, оптимизация структуры сети (вариант III) посредством предложенного алгоритма позволяет сократить как суммарную длину ВЛ 10 кВ, так и ВЛ 35 кВ за счет изменения координат установки источника питания.

В результате изменения длины воздушных линий потери электрической энергии в них на напряжении 10 кВ сократились на 15,8%, а на напряжении 35 кВ – почти в два раза (рис.3).

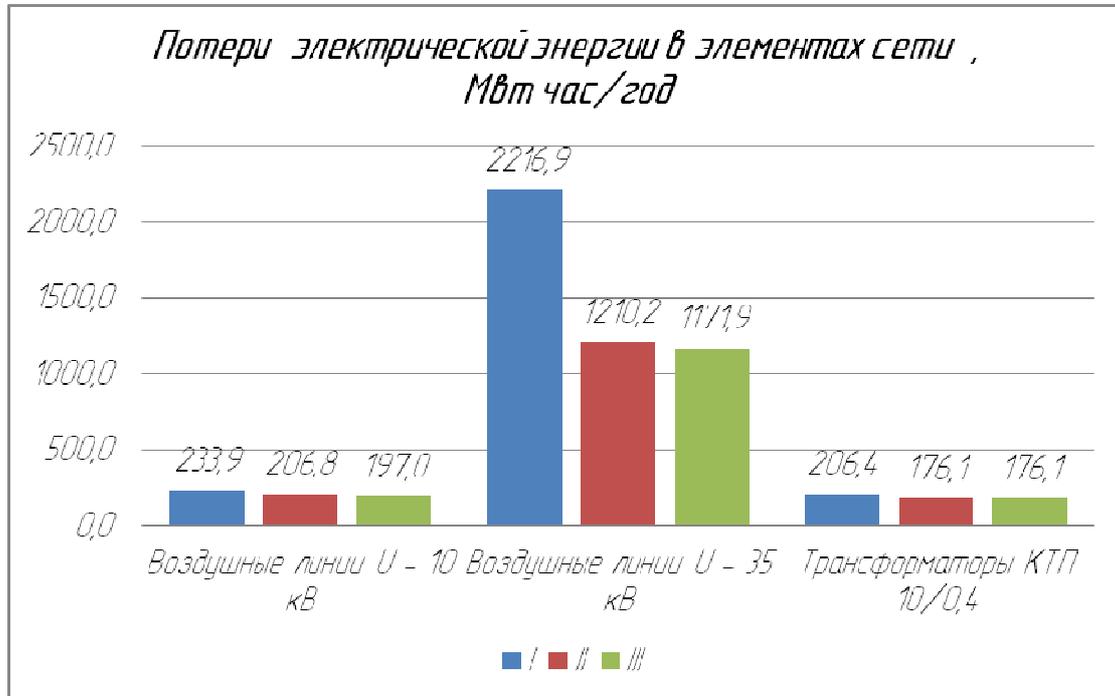


Рис.3 Потери электрической энергии в элементах электрической сети.

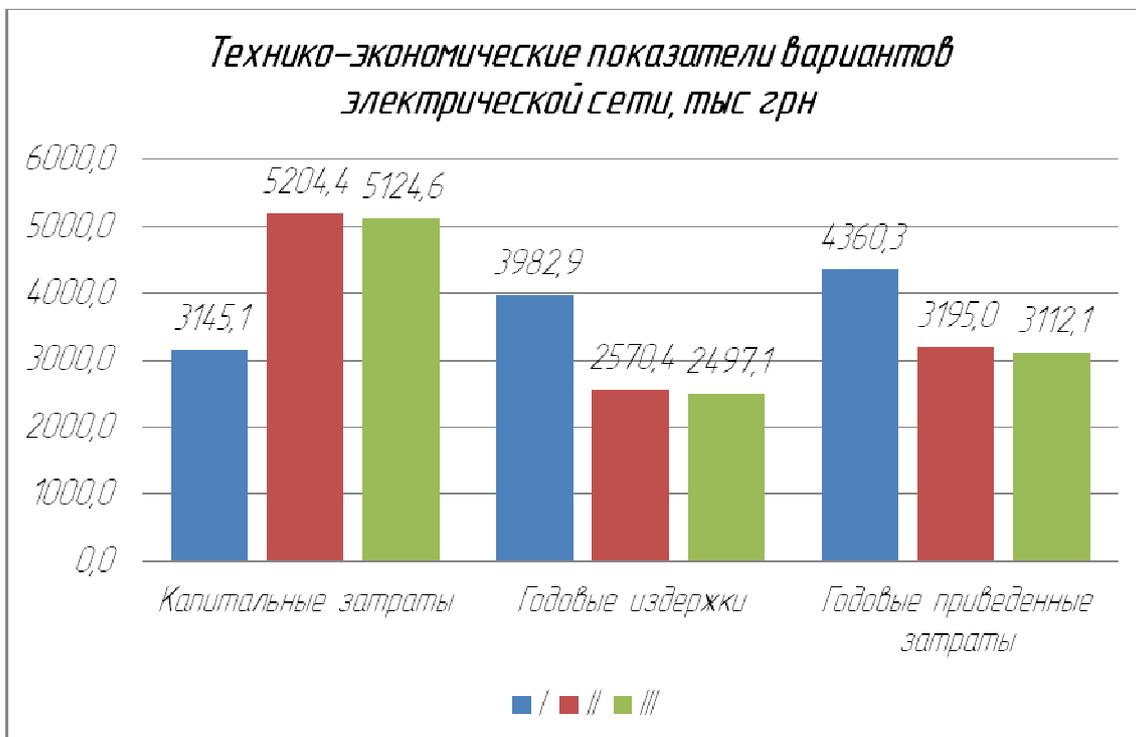


Рис.4 Технико-экономических показателей вариантов структуры электрической сети сельскохозяйственного района.

Снижение суммарных потерь для III варианта составило 41,9% по сравнению с базовым вариантом.

Анализ технико-экономических показателей вариантов структуры электрической сети (рис.4) показал, что минимальные годовые приведенные затраты достигаются при оптимизации ее структуры. Они на 30% меньше, чем для первого варианта, несмотря на то, что капитальные вложения больше в 1,5 раза, что связано с существенным снижением потерь электрической энергии.

Кроме того, суммарное потребление электрической энергии с сети снизилось на 7 % за счет использования потенциала солнечной энергии района.

*Вывод.* Предложенный формализованный метод формирования структуры сельских электрических сетей, содержащих возобновляемые источники энергии, позволяет учесть изменение режима работы таких сетей и оптимизировать их структуру с точки зрения снижения номинальной составляющей потерь электроэнергии и годовых приведенных затрат.

#### *Список использованных источников*

1. Праховник А.В. Малая энергетика: распределенная генерация в системах электроснабжения / А.В. Праховник – К.: Освіта України, 2007. – 464 с.

2. Качан Ю.Г. О возможности распознавания топологии оптимальной системы электроснабжения / Ю.Г. Качан, В.В. Дьяченко. // Гірнична електромеханіка та автоматика – 2007. - № 78. – с.3-5.

3. Заболотний А.П. Побудова структури мереж електропостачання споживачів АПК, що містять джерела «малої генерації» / А.П. Заболотний, Д.В. Федоша, Ю.В. Даус // Вісник ХНТУСГ ім. Петра Василенка. Технічні науки «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України». – 2011. – Вип. 116. – с.20-21.

4. Побудова структури мереж електропостачання підприємств АПК, які містять вітроенергетичні установки / А.П. Заболотний, Д.В. Федоша, Ю.В. Даус, Д.О. Данильченко // Вісник ТДАТУ «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України». – 2012. – Вип. 7. – с.37-41.

## **ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ СІЛЬСЬКИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ З ПОНОВЛЮВАНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ**

Заболотний А.П., Дьяченко В.В., Даус Ю.В.

*Анотація* - запропоновано підхід до формалізації процесу формування структури сільській електричній мережі при її проектуванні та модернізації в умовах присутності в ній поновлюваних джерел електричної енергії, який дозволяє врахувати оптимізувати структуру мережі з точки зору зниження річних приведених витрат, а також виключити вплив фактора суб'єктивізму проєктувальника на оптимальність прийнятих рішень.

## **FORMATION OF RURAL ELECTRICAL NETWORKS WITH RENEWABLE SOURCES OF ENERGY**

A. Zabolotnyi, V. Dyachenko, Y. Daus

### *Summary*

There is presented an approach to formalize the structure formation process of rural power network on the stage of its designing and modernization in terms of renewable electrical energy presence in it, which is based on the equipotential contours method, which allows to consider the rural electric networks mode changing when new electrical energy sources are attached to them, optimize their structure in terms of the annual cost reduction, as well as to eliminate the subjectivity designer influence factor for decisions optimality.