

## НЕЧЁТКАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСЧЁТА НЕДООТПУСКА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В СЕКЦИОНИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ 10 КВ

Тимчук С. А., Сиротенко М. А.

*Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени Петра Василенка*

*Предложена нечёткая математическая модель расчёта недоотпуска в секционированной разветвлённой электрической сети 10кВ, которая учитывает возможность установки других средств повышения надёжности и может использоваться в качестве одной из целевых функций при решении задачи построения оптимальной схемы размещения средств повышения надёжности в секционированных электрических сетях сельских регионов в условиях неопределённости исходной информации.*

### Постановка проблемы.

Несмотря на совершенствование конструкции воздушных линий электропередачи и электрических аппаратов, аварийные повреждения в системах электроснабжения неизбежны. При этом в распределительных сетях сельских регионов наибольшее количество аварийных отключений происходит в сетях напряжением 10 кВ. Если в одной из точек сети возникает повреждение и создаётся недопустимый аварийный режим, повреждённая линия или участок выявляются средствами релейной защиты и автоматики, после чего осуществляется их отключение. Выход из работы линии всегда сопровождается или недоотпуском электроэнергии, или снижением надёжности, качества и увеличением себестоимости электроснабжения. В условиях рыночных отношений между поставщиками и потребителями электрической энергии одним из последствий аварийного отключения электроэнергии становится возмещение ущерба потребителям. Украинское законодательство предусматривает материальную ответственность поставщиков перед потребителями, в том числе и ответственность электроснабжающих организаций. Таким образом, снижение недоотпуска электроэнергии является одной из важнейших задач, которые необходимо решить при разработке и эксплуатации распределительных электрических сетей 10кВ.

### Анализ последних исследований и публикаций.

Методы снижения недоотпуска электроэнергии в электрических сетях 10 кВ можно условно разделить на два вида:

- 1) методы, которые позволяют снизить недоотпуск электроэнергии за счёт секционирования распределительной сети;
- 2) методы, которые позволяют снизить недоотпуск электроэнергии за счёт уменьшения времени, затраченного на поиск места повреждения в сети, а следовательно и времени, затраченного на устранение повреждения на участке ( $\tau_{рем.}$ ).

На современном этапе развития автоматизации с целью повышения структурной надёжности электроснабжения существует ряд подходов для размещения коммутационных аппаратов в сети. Но все эти методики имеют ряд недостатков: в методике [1] - отсутствие обоснования места и схемы размещения КА, отсутствие рекомендаций по использованию методи-

ки при недетерминированном типе исходных данных; в методике [2] - использование расчетной модели линии с равномерно распределенной нагрузкой, отсутствие экономического обоснования места и схемы размещения коммутационных аппаратов (КА), использование только детерминированного типа исходных данных; в [3] - отсутствие учета присутствия дополнительных средств повышения надежности, невозможность использования данной методики для схем распределительной сети с АВР.

В [4 - 6] также описаны методики применения и установки современных средств определения мест повреждения, которые существенно улучшают технико-экономические показатели электроснабжения, повышают надёжность работы энергосистем, сокращают аварийный недоотпуск электроэнергии потребителям и значительно сокращают трудозатраты на отыскание повреждений. Однако, при установке таких средств следует учесть, что их установка может оказаться экономически не выгодной, например, при малой активной потребляемой мощности электроустановок потребителей и длине ответвлений. Также проанализированные методики не позволяют провести сравнительный анализ экономической эффективности применения средств для определения мест повреждения в распределительных сетях 10 кВ с коммутационными аппаратами нового поколения, которые, помимо автоматического секционирования сети, могут также выполнять функции указателей повреждённых участков, что делает их более эффективными при большой активной потребляемой мощности электроустановок потребителей.

**Цель исследований** - разработать математическую модель расчёта недоотпуска электроэнергии в условиях неопределённости исходной информации для поиска оптимальной схемы размещения средств повышения надёжности в электрических сетях сельских регионов напряжением 10 кВ.

### Основные материалы исследований.

Математическая модель размещения средств повышения надёжности (СПН) в распределительных сетях сельских регионов построена с учётом того, что процесс функционирования распределительной сети подчиняется закономерности [7], которая определяет простейший поток, то есть поток событий, что удовлетворяет свойствам стационарности, отсутствию последствий и ординарности. При построении математической модели рассматривались такие СПН, как

разъединители, автоматический ввод резерва (АВР), реклоузеры и указатели повреждённого участка (УПУ). Таким образом, формула для расчёта недоотпуска в матричном виде имеет вид:

$$W = [K \cdot (H + I) + J \cdot M \cdot L + J \cdot R] \cdot P \cdot T \cdot \omega \cdot \tau + P \cdot L \cdot \omega \cdot \tau \quad (1)$$

где K, J, P – это матрицы, размером N×N (N – количество ответвлений) и содержание которых определяется лицом принимающим решение (ЛПР);

R, M, L, I, H – рабочие матрицы, размер которых определяется числом N, элементы матрицы T определяются пользователем и зависят от мест размещения КА;

$\omega$  – параметр потока отказов, 1/год\*км;

$\tau_{cp}$  – время срабатывания КА, час;

$\tau$  – среднее время устранения одного устойчивого повреждения, час.

Так как время срабатывания  $\tau_{cp}$  напрямую зависит от времени поиска места повреждения, на которое в свою очередь влияет наличие или отсутствие тех или иных СПН в местах их возможной установки, то для его расчёта также разработана математическая модель в матричном виде:

$$\tau_{cp} = \frac{\left( \frac{1}{2} \cdot L_x + K \cdot S + 2 \cdot J \cdot X \cdot P + 2 \cdot J \cdot Y \cdot P \right)}{(2 \cdot N + 1) \cdot V_{op}}, \quad (2)$$

где S, X, Y – рабочие матрицы, размер которых также определяется числом N,

Коэффициенты, обозначающие присутствие или отсутствие того или иного СПН в схеме распределительной сети, принимают значения 1 или 0 соответственно. Так же ряд исходных данных, таких как параметр потока отказов ( $\omega$ ), скорость движения ремонтной бригады ( $V_{op}$ ), среднее время устранения 1-го устойчивого повреждения ( $\tau$ ) и стоимости самих СПН, представлены в нечётком виде. Соответственно, представленные выше зависимости также являются нечёткими.

**Вывод.** Таким образом, предложенная нечёткая математическая модель позволяет учитывать установку сразу нескольких видов СПН и может использоваться в качестве одной из целевых функций при решении задачи построения оптимальной схемы размещения средств повышения надёжности в секционированных электрических сетях сельских регионов напряжением 10 кВ в условиях неопределённости исходной информации.

#### Список использованных источников

1. Будзко И. А. Электроснабжение сельского хозяйства / И. А. Будзко, Н. М. Зуль - М.: Агропром-

издат, 1990. - 496 с.

2. Будзко И. А. Электроснабжение сельскохозяйственных предприятий и населенных пунктов / И. А. Будзко, М. С. Левин.- М.: Агропромиздат, 1985. - 320с.

3. Керного В. В. Автоматизация некоторых расчетов электрических сетей / В. В. Керного. – Минск: Наука и техника, 1968. - 140 с.

4. Аржанникова А. Е. Определение расстояния до места короткого замыкания в сетях 6-10 кВ [Текст]/ А. Е. Аржанникова // Энергетик. - 1997. – № 12. – С. 22. – Библиогр.: с. 1. – ISSN 0013-7278.

5. Борухман В. А. Установка указателей повреждённого участка линии 6-10 кВ типа УПУ-1 / В. А. Борухман // Электрические станции. - 1979. - № 10. – С. 84.

6. Dong Xinzhou, Optimizing solution of fault location / Dong Xinzhou, Chen Zheng, He Xuanzhou, Wang Kehong, Luo Chengmu // Power Engineering Society Summer Meeting. - 2002. – V. 3. – P. 1113 – 1117.

7. Арион В. Д. Оптимизация систем электроснабжения в условиях неопределённости / В. Д. Арион, В. С. Каратун, П. А. Пасинковский. - Кишинев: Штиинца, 1991. - 164с.

#### Анотація

### НЕЧІТКА МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ РОЗРАХУНКУ НЕДОВІДПУСКУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В СЕКЦІОНОВАНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ 10 КВ

Тимчук С. О., Сиротенко М. О.

*Запропонована нечітка математична модель розрахунку недовідпуску електричної енергії в секціонованій розгалуженій електричній мережі 10кВ, яка враховує можливість установки інших засобів підвищення надійності і може бути використана в одній з цільових функцій при розв'язанні задачі побудови оптимальної схеми розміщення засобів підвищення надійності в електричних мережах сільських регіонів в умовах невизначеності вхідної інформації.*

#### Abstract

### FUZZY MATHEMATICAL MODEL OF CALCULATION OF UNDERSUPPLY IN 10 KV PARTITIONED ELECTRICAL NETWORKS

S. Tymchuk, M. Sirotenko

*Fuzzy mathematical model of calculation of undersupply in 10 kV branched partitioned electrical networks that takes into account setting possibility of other reliability increase facilities and can be used as one of objective functions at the decision of task of construction of optimal chart of reliability increase facilities placing in the sectionalized electric networks of rural regions in the conditions of initial information vagueness is proposed.*