

### Анализ потерь данных в информационных системах, использующих протокол *Modbus RTU* для передачи информации

*Кратко рассмотрены некоторые вопросы внедрения микропроцессорных устройств релейной защиты и автоматики в Украине; описаны и проанализированы результаты эксперимента по оценке потерь информации при использовании протокола Modbus RTU в информационных системах. Библи. 4, рис. 2, таблица.*

**Ключевые слова:** информация, МПЗА, *Modbus RTU*.

**B. Stognii<sup>1</sup>, A. Panov<sup>2</sup>, D. Voitov<sup>3</sup>, N. Nestryzhennyi<sup>4</sup>**

1-3 – Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Peremohy, 56, Kyiv-57, 03680, Ukraine

4 – PE "ANIGER",

Garmatna str., 2, Kyiv, 03680, Ukraine

### **Analysis of data loss in information systems which use Modbus RTU protocol for data transfer**

*Several issues of IEDs implementation in Ukraine are briefly described. Description and analysis of assessment of data loss in information systems which use Modbus RTU protocol experiment are provided. References 4, figures 2, table.*

**Key words:** data, IED, *Modbus RTU*.

Надійшла 15.06.2015

Received 15.06.2015

УДК 621.316.1

### **МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫЙ ВЫБОР СТРУКТУРЫ И ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕМЕНТОВ MICROGRID С УЧЕТОМ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИСХОДНОЙ ИНФОРМАЦИИ**

**В.А. Попов<sup>1</sup>**, канд. техн. наук, **П.А. Замковой<sup>2</sup>**, асп., **И.А. Дмитренко<sup>3</sup>**, маг., **Luciane Neves Canha<sup>4</sup>**, канд. техн. наук

1–3 – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», пр. Перемоги, 37, Київ, 03056 Україна

4 – Федеральний університет Санта-Марія, Бразилія

E-mail: [tig@ukr.net](mailto:tig@ukr.net), [zamkovoy@list.ru](mailto:zamkovoy@list.ru)

*Предложен двухэтапный метод, позволяющий формализовать процедуру выбора оптимальной структуры и параметров микросети, работающей на выделенную группу потребителей. На первом этапе осуществляются генерация альтернативных вариантов построения микросети и выбор из них ограниченного числа наиболее предпочтительных с точки зрения ряда критериев различного характера. На втором этапе определение оптимального решения производится на основе технико-экономического сравнения выделенных вариантов при учете неопределенности исходной информации на основе использования в расчетах обобщенной интервальной арифметики Хансена. Библи. 6, рис. 2.*

**Ключевые слова:** распределенная генерация, микросеть, неопределенность информации, многокритериальное принятие решений.

Распределенная генерация, в частности, в форме микросетей (*microgrids*), ориентированных на комплексное использование генерирующих и аккумулирующих источников, которые базируются на различных альтернативных и традиционных технологиях, сегодня уже является неотъемлемой частью современной энергетики развитых стран. В условиях Украины на первом этапе развития подобные структуры скорее всего будут работать изолированно от энергосистемы либо параллельно с ней, но с “нулевыми перетоками”, т.е. не выдавая энергию в сеть, а только используя ее для поддержания частоты, уровней напряжения, обеспечения надежности электроснабжения. Очевидно, что эффективность работы такой микросети будет в значительной мере определяться составом и параметрами входящего в ее состав генерирующего оборудования. Подобные микросети часто проектируются для энергообеспечения территориально обособленных небольших промышленных или коммунально-бытовых объек-

тов, и в этих условиях достаточно сложно найти экспертов необходимого уровня квалификации, способных аргументированно предложить конкурентные варианты построения микросети для последующего их технико-экономического сравнения. Поэтому целью статьи является создание метода, позволяющего формализовать процесс генерации и выбора наиболее рационального варианта построения микросети, работающей на выделенную нагрузку, включая обоснование как ее структуры, так и параметров используемого оборудования.

Потенциальный состав генерирующих источников можно определить, ориентируясь на имеющиеся для отдельных территорий Украины рекомендации относительно применения альтернативных и местных энергетических ресурсов [2]. Задав интервалы дискретности  $\Delta P_i$ ,  $i=1, \dots, S$  изменения мощностей отдельных генерирующих источников, реализуем процедуру, состоящую из  $S$  вложенных циклов. Это позволяет найти все возможные комбинации (состава и мощностей отдельных генерирующих установок), обеспечивающие выполнение условия баланса  $\sum_{i=1}^S P_i = P_n$ , где  $P_n$  – суммарная нагрузка потребителей микросети. При этом величина  $\Delta P_i$  может быть различной для отдельных источников, формирующих микросистему в зависимости от их технических характеристик, что позволяет гибко исследовать всю допустимую область изменения переменных.

Очевидно, что при таком подходе может быть получено множество альтернативных вариантов, и однозначная экономическая оценка каждого из них (на основании конкретных паспортных данных оборудования, его стоимостных и технических характеристик) не только невозможна, но и нецелесообразна. В связи с этим на первоначальном этапе целесообразно оценивать альтернативы комплексом факторов различного характера, задаваемых интервальными величинами, полученными в процессе обобщения соответствующих данных, имеющихся в открытых источниках.

В частности, для оценки каждого из альтернативных вариантов построения микросети предлагается учитывать факторы экономического [например, удельные капитальные затраты  $(\underline{z}_k - \bar{z}_k)$  и удельные эксплуатационные издержки  $(\underline{z}_u - \bar{z}_u)$ ], технического [время использования установленной мощности оборудования  $(\underline{T}_{\max} - \bar{T}_{\max})$ ], экологического [уровень снижения выбросов в окружающую среду  $(\underline{\Delta V}_i - \bar{\Delta V}_i) = [V_0 - (V_i - \bar{V}_i)] P_i T_{\max i}$  за счет применения предлагаемой технологии генерации энергии, где  $V_0$  – средний по Украине показатель выбросов, например,  $CO_2$  на 1 кВт·ч генерируемой электроэнергии] характера, показатель риска, характеризующий возможность того, что планируемое оборудование не сможет выдать потребителям требуемую величину мощности, и зависящий от степени диверсификации источников генерации  $(R_T = -\sum_{i=1}^S P_i \ln P_i)$ .

Одним из традиционных путей анализа альтернатив и принятия решений в условиях неопределенности (например, при интервальном задании параметров) является использование аппарата теории игр. Общим свойством подобных задач является необходимость варьирования значениями исходных данных. В работе [4] показано, что при возможности реализации относительно небольшого числа опытов, наиболее полный и равномерный анализ всей многомерной области допустимых значений параметров достигается при использовании так называемых ЛП<sub>т</sub> последовательностей. Данный алгоритм позволяет получить точки с координатами  $q_{rj}$ ,  $r=1, \dots, R$ ,  $j=1, \dots, M$ , которые образуют равномерно распределенные последовательности в одиночном  $n$ -мерном кубе  $K^n$ .

Поскольку исходные данные задаются индивидуально для каждого из генерирующих источников, а любой альтернативный вариант построения микросети в общем случае представляет собой комбинацию генерирующих источников с различным их удельным весом в ее суммарной мощности, возникает задача интегральной оценки альтернатив по каждому из перечисленных показателей:

Альтернативы	Сочетания исходных данных				
	1	...	<i>j</i>	...	<i>M</i>
1	$\mu_{Zk1,1}$		$\mu_{Zk1,j}$		$\mu_{Zk1,M}$
...					
<i>r</i>	$\mu_{Zkr,1}$		$\mu_{Zkr,j}$		$\mu_{Zkr,M}$
...					
<i>R</i>	$\mu_{ZkR,1}$		$\mu_{ZkR,j}$		$\mu_{ZkR,M}$

Рис. 1

Альтернативы	Сочетания исходных данных				
	1	...	<i>j</i>	...	<i>M</i>
1	$\mu_{D1,1}$		$\mu_{D1,j}$		$\mu_{D1,M}$
...					
<i>r</i>	$\mu_{Dr,1}$		$\mu_{Dr,j}$		$\mu_{Dr,M}$
...					
<i>R</i>	$\mu_{DR,1}$		$\mu_{DR,j}$		$\mu_{DR,M}$

Рис. 2

$$Z_{krj} = \sum_{i=1}^S [z_{ki} + q_{rj} (\bar{z}_{ki} - z_{ki})] p_{ir};$$

$$T_{maxrj} = \frac{\sum_{i=1}^S [T_{maxi} + q_{rj} (\bar{T}_{maxi} - T_{maxi})] p_{ir}}{\sum_{s=1}^n p_{ir}};$$

$$Z_{urj} = \sum_{i=1}^S [z_{ui} + q_{rj} (\bar{z}_{ui} - z_{ui})] p_{ir} T_{maxcpi};$$

$$V_{rj} = \sum_{i=1}^S \{V_0 - [V_i + q_{rj} (\bar{V}_i - V_i)]\} p_{ir} T_{maxcpi};$$

где  $T_{maxcpi} = \frac{T_{maxi} + \bar{T}_{maxi}}{2}$ ;  $p_{ir}$  – мощность *i*-го источника в *r*-й альтернативе;  $r = 1, \dots, R$  – номер альтернативы;  $j = 1, \dots, M$  – номер варианта варьирования исходных данных;  $i = 1, \dots, S$  – порядковый номер (тип) источника генерации в составе микросети согласно рассматриваемой альтернативе;

$q_{rj}$  – координаты точек ЛП<sub>T</sub> последовательностей, определенные для каждой *r*-й альтернативы и *j*-го набора данных.

Сформированная таким образом платежная матрица, например для показателя капитальных затрат, показана на рис. 1. Очевидно, что подобные платежные матрицы строятся для всех факторов, которые используются для оценки альтернативных вариантов построения микросетей. Для их дальнейшего анализа может быть предложен метод, разработанный Р. Беллманом и Л. Заде, основанный на аппарате теории нечетких множеств и получивший дальнейшее развитие в ряде работ, например [6]. Данный подход заключается в следующем.

Первоначально формируются так называемые модифицированные (нормализованные) платежные матрицы по каждому из рассматриваемых факторов (целевых функций). Элементы таких матриц вычисляются на основе следующих выражений:

$$\mu_k(x) = \frac{\max A_k(x) - A_k(x)}{\max A_k(x) - \min A_k(x)} \text{ – для минимизируемых целевых функций};$$

$$\mu_k(x) = \frac{A_k(x) - \min A_k(x)}{\max A_k(x) - \min A_k(x)} \text{ – для максимизируемых целевых функций}.$$

Следует находить нормализованные значения целевых функций, рассматривая одновременно все анализируемые состояния природы (сочетания исходных данных) по всем альтернативам.

На следующем этапе осуществляется формирование агрегированной платежной матрицы (рис. 2) на основе условия  $\max_{x \in X} \mu_D(x) = \max_{x \in \Omega^*} \min_k \mu_{Ak}(x)$ ,  $k = 1, \dots, K$ . При этом одновременно рассматриваются все модифицированные платежные матрицы, соответствующие отдельным частным целевым функциям (факторам).

Для анализа сформированной таким образом агрегированной платежной матрицы с целью выбора оптимального решения могут быть использованы любые из стандартных критериев теории игр. Однако в данном случае принимаемое решение будет уже учитывать всю совокупность рассматриваемых в задаче целевых функций (факторов). В частности, при ориентации на критерий Вальда выбор оптимальной альтернативы происходит в соответствии с условием  $\mu_D^{\max} = \max_{1 \leq r \leq R} \mu_{Dr,j}$ , где  $\max_{1 \leq r \leq R} \mu_{Dr,j} = \max_{1 \leq r \leq R} \min_{1 \leq j \leq M} \min_{1 \leq t \leq L} \mu_{t,r,j}$ ;  $L$  – количество рассматриваемых целевых функций.

Согласно критерию Лапласа имеем

$$\max_{1 \leq r \leq R} \mu_{Di,j} = \max_{1 \leq r \leq R} \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M \min_{1 \leq \ell \leq L} \mu_{\ell,r,j}.$$

В данном случае также может быть сформирована и матрица рисков  $R_{r,j} = \mu_{Dr}^{\max} - \mu_{Dr,j}$ , где  $\mu_{Dr}^{\max} = \max_{1 \leq r \leq R} \mu_{Dr,j}$ , что дает возможность осуществить выбор оптимальной альтернативы на основе критерия Сэвиджа:

$$\min_{1 \leq r \leq R} R_{r,j}^{\max} = \min_{1 \leq r \leq R} \max_{1 \leq j \leq M} \left[ \max_{1 \leq j \leq N} \min_{1 \leq \ell \leq L} \mu_{\ell,r,j} - \min_{1 \leq \ell \leq L} \mu_{\ell,r,j} \right].$$

Вместе с тем в соответствии с различными критериями оптимальности выбор может осуществляться в пользу различных альтернатив. Однако при этом сокращается количество сравниваемых альтернатив, что уже дает возможность провести их технико-экономическое сравнение, используя фактические характеристики конкретного оборудования.

При этом следует учесть, что в конкурентных рыночных условиях любой субъект хозяйственной деятельности при принятии решений неизбежно сталкивается с неопределенностями различного вида и происхождения. Например, в работе [1] прямо указывается, что ставка дисконтирования принципиально не является детерминированной величиной. В этом случае простейшей и наиболее распространенной ситуацией является знание множества возможных значений неизвестной величины. Такая ситуация является предметом интервального анализа.

В основе большинства экономических показателей инвестиционных проектов лежит выражение дисконтированных затрат  $NPV = \sum_{t=0}^N \frac{CF^{(t)}}{(1+q)^t}$ , где  $CF^{(t)}$  – поток платежей (доходы и инвестиции) в  $t$ -й период времени;  $q$  – коэффициент дисконтирования.

Здесь для интервальной оценки величины дисконтированных затрат используется обобщенная интервальная арифметика Хансена [5], которая в отличие от стандартной интервальной арифметики обеспечивает однозначность при вычислении сложных функциональных зависимостей, позволяя тем самым снизить уровень неопределенности получаемых результатов.

В этом случае для удобства оперирования интервальные величины  $X[\underline{x}, \bar{x}]$  представляются в виде  $X = y + c$ , где  $y = \frac{\underline{x} + \bar{x}}{2}$ ,  $c = \frac{\bar{x} - \underline{x}}{2}$ . Соответственно в этом случае интервальная величина ставки дисконтирования ( $q$ ) будет задана следующим образом:  $q = q_0 + u_q$ ,  $-r_q \leq u_q \leq r_q$ , где  $q_0 = \frac{q_1 + q_2}{2}$ ;  $r_q = \frac{q_2 - q_1}{2}$ . Тогда, учитывая правила выполнения арифметических операций, принятые в обобщенной интервальной арифметике [3], интервальная величина дисконтированных затрат будет определяться согласно выражению

$$[NPV_1, NPV_2] = \left[ \sum_{t=0}^N \left( \frac{CF^{(t)}}{B^{(t)}} - r_q \frac{CF^{(t)} F^{(t)}}{D^{(t)}} \right), \sum_{t=0}^N \left( \frac{CF^{(t)}}{A^{(t)}} + r_q \frac{CF^{(t)} F^{(t)}}{D^{(t)}} \right) \right],$$

$$\text{где } A^{(t)} = (1+q_0)^t; \quad B^{(t)} = t(1+q_0)^{t-1}; \quad D^{(t)} = (1+q_0)^t + \sum_{k=1}^{t/2} C_t^{2k} (1+q_0)^{t-2k} r_q^{2k};$$

$$F^{(t)} = t(1+q_0)^{t-1} + \sum_{k=1}^{(t-1)/2} C_t^{2k+1} (1+q_0)^{t-1+2k} r_q^{2k}.$$

Таким образом, окончательный выбор оптимальной структуры микросети из ограниченного числа уже отобранных альтернативных решений может базироваться на традиционных процедурах технико-экономического сравнения вариантов, но с учетом неопределенности информации, которая является естественным фактором для условий проектирования технических систем.

**Выводы.** 1. Предложенный метод позволяет формализовать процедуру генерации и выбора оптимального состава и параметров микросети в условиях реально существующей неопределенности исходной информации.

2. Первоначальный анализ вариантов построения микросети осуществляется на основе рассмотрения группы факторов экономического, технического, экологического, социального характера с использованием элементов теории игр.

3. Окончательный выбор оптимального решения связан с использованием процедуры технико-экономического сравнения ограниченного числа предварительно отобранных альтернативных вариантов при учете неопределенности информации посредством применения математического аппарата обобщенной интервальной математики Хансена.

1. Балабанов И.Т. Риск-менеджмент. – М.: Финансы и статистика, 1996. – 192 с.
2. Кудря С.О., Яценко Л.В., Душина Г.П. та ін. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних та нетрадиційних джерел енергії України: Енергія вітру, сонячна енергія, енергія малих рік, енергія біомаси, геотермальна енергія, енергія доквілля, енергія скидного енерготехнологічного потенціалу, енергія нетрадиційного палива. – К.: НАН України, Державний Комітет України з енергозбереження, 2001. – 41 с.
3. Попов В.А., Ярмолюк Е.С., Сауд Банузаве Сахрагард. Особливості застосування інтервального аналізу під час вибору оптимальних варіантів // Вісн. Вінницького політехн. ін-ту. – 2012. – № 1. – С. 171–174.
4. Соболев И.М., Левитан Ю.Л. Получение точек, равномерно расположенных в многомерном кубе. – М., 1976. – 37 с. (Препр. / Институт прикладной математики АН СССР, № 40).
5. Hansen E. A generalized interval arithmetic, in Interval Mathematics, Ed. By K. Nickel. Interval Mathematics, Lecture notes in Computer Science. V. 29. Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag, 1975. – P. 7–18.
6. Pedrich W., Ekel P., Parreiras R. Fuzzy multicriteria decision-making // Models, methods and application, John Wiley and Sons, 2011. – 338 p.

УДК 621.316.1

**В.А. Попов**<sup>1</sup>, канд. техн. наук, **П.О. Замковий**<sup>2</sup>, асп., **І.А. Дмитренко**<sup>3</sup>, маг., **Luciane Neves Canha**<sup>4</sup>, канд. техн. наук  
1–3 – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,  
пр. Перемоги, 37, Київ, 03056, Україна  
4 – Федеральний університет Санта-Марія, Бразилія

#### **Багатокритеріальний вибір структури і параметрів елементів *microgrid* з урахуванням невизначеності вихідної інформації**

*Запропоновано двоетапний метод, який дає змогу формалізувати процедуру визначення оптимальної структури і параметрів мікромережі, що працює на виділену групу споживачів. На першому етапі здійснюється генерація альтернативних варіантів побудови мікромережі і вибору з них обмеженого числа найбільш доцільних з точки зору групи критеріїв різного характеру. На другому етапі визначення оптимального рішення проводиться на основі техніко-економічного порівняння виділених варіантів при врахуванні невизначеності вихідної інформації на основі використання в розрахунках узагальненої інтервальної арифметики Хансена. Бібл. 6, рис. 2.*

**Ключові слова:** розподілена генерація, мікромережі, невизначеність інформації, багатокритеріальне прийняття рішень.

**V.A. Popov**<sup>1</sup>, **P.O. Zamkovyi**<sup>2</sup>, **I.A. Dmytrenko**<sup>3</sup>, **Luciane Neves Canha**<sup>4</sup>  
1–3 – National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute",  
Peremohy, 37, Kiev, 03056, Ukraine

4 – Post Graduate Program in Electrical Engineering, Federal University of Santa Maria, Brazil

#### **Multicriteria choice of the structure and parameters of microgrid elements taking into account the uncertainty of the initial information**

*Authors propose a two-step method to formalize the procedure for choosing the optimal structure and parameters of microgrid operating on a limited group of users. The first step involves the generation of microgrid construction alternatives and selecting a limited number preferred from the viewpoint of sets of different criteria. In the second stage determination of the optimal decision is based on technical and economical comparison of the previously selected options taking into account the uncertainty of the initial information on the basis of the Hansen generalized interval arithmetic. References 6, figures 2.*

**Key words:** distributed generation, microgrid, uncertainty information, multicriteria decision making.

Надійшла 13.07.2015  
Received 13.07.2015