

## TWO-CRITERION SELECTION OF THE ELECTRIC CABLE CROSS-SECTION IN ELECTRIC DISTRIBUTION NETWORKS

Prof. d-r Anton Andonov, Joana Bakardjieva,  
University of Chemical Technology and Metallurgy – Sofia

Petar Xesapchiev  
University Technical of Sofia, IPF-Sliven

*Abstract.* This paper proposes an approach to select the cable cross-section in electric distribution networks by simultaneously satisfying two criteria: minimal discounted costs and minimal loss of voltage.

*Keywords:* cable cross-section, distributed networks, discounted costs, minimal loss of voltage

## ДВУКРИТЕРИАЛЕН ИЗБОР НА СЕЧЕНИЕТО НА ПРОВОДНИЦИТЕ В ЕЛЕКТРИЧЕСКИ РАЗПРЕДЕЛИТЕЛНИ МРЕЖИ

Доц.д-р Антон Андонов, маг.инж. Йоана Бакърджиева,  
Химикотехнологичен и металургичен университет – София

маг.инж. Петър Хесапчиев  
Технически университет-София, ИПФ-Сливен

*Резюме.* В доклада се предлага подход за избор на сечението на проводниците в електрическите разпределителни мрежи едновременно по два критерия: минимални дисконтирани разходи и минимални загуби на напрежение.

*Ключови думи:* сечение на кабела, разпределени мрежи, дисконтирани разходи, максимално допустимата загуба на енергия

Сеченията на проводниците за въздушните електропроводи в електрическите разпределителни мрежи се изчисляват при тяхното проектиране или реконструкция. Най-често оразмерителните условия за избор на сеченията на проводниците в електрическите мрежи за средно и ниско напрежение са: допустима загуба на напрежение, допустимо нагряване в нормални и следаварийни режими, термична устойчивост на токовете на късо съединение, икономически показатели, механични изисквания и др. [1,2,3,4]. При прилагането на всяко от изброените условия, сечението на проводниците се избира само по конкреткия критерий.

Разработени са алтернативни подходи за избор на сечението на проводниците по два критерия: минимални приведени разходи и минимална загуба на напрежение [5].

Подходът дава възможност за избор на сечението на проводниците при едновременно удовлетворяване на двата критерия:

$$(1) \quad \wp_w = \sum_i \wp_{wi} = \min ;$$

$$(2) \quad \sum_i \Delta U_i \leq \Delta U_\delta ,$$

където  $\wp_w$  - сумарните разходи за електропровода;  $\sum_i \wp_{wi}$  - сумарните разходи за  $i$ -ти участък;  $\Delta U_i$  е загубата на напрежение в  $i$ -ти участък;  $\sum_i \Delta U_i$  - сумата от загубите на напрежение в участъците от захранващия до крайния възел;  $\Delta U_\delta$  - допустимата загуба на напрежение в съответствие с [3].

Осъвременяването на подхода изисква определяне на сумарните дисконтирани разходи за  $i$ -ти електропровод на разпределителната мрежа:

$$(3) \quad \wp_{wi} = \frac{(K_t + C_t)_i}{(1+e)_i^t},$$

където  $K_t$  са инвестициите за t-година;  $e$  - нормата на дисконтиране [6];  $C_t = C_1 + C_2$  - експлоатационните разходи за t-година;  $C_1 = c_1 \cdot K$  - експлоатационните разходи за електропровода;  $C_2 = \frac{3\rho I_{\max}^2}{s} \cdot (a_u k_g^2 + a_n \beta \tau)$ ;  $K$  - сумарните инвестиции за изграждане на съоръжението;  $K_t = K/T$ ;  $T$  - експлоатационният период на електропровода;  $c_1$  - нормата на отчисленията за амортизация, поддържане и ремонт на електропровода;  $\rho$  - специфичното електрическо съпротивление на проводниците;  $s$  - сечението на проводниците;  $I_{\max}$  - максималният ток;  $a_u$  инвестициите за изграждане на 1 kW мощност в електрическите централи за покриване на върховия товар;  $k_g$  - коефициентът на несъвпадане на максималния товар на електропровода и на електроенергийната система;  $a_n$  - коефициентът на нарастване на товарите;  $\beta$  - цената на електроенергията;  $\tau$  - фиктивното времетраене на максималните загуби на мощност в електропровода.

Ако в уравнение (1) за инвестициите  $K_t$  се включат техните съставки  $K_a$  и  $K_b$ , съответно зависещи и независещи от сечението на проводника  $s$ , се получава

$$(4) \quad \wp_{wi} = \left( \frac{K_t}{(1+e)^t} + \frac{C_t}{(1+e)^t} \right)_i = \left( \frac{(K_a + c_1 K) + (K_b + c_1 K)s}{(1+e)^t} \right)_i + \left( \frac{3\rho I_{\max}^2}{s(1+e)^t} \cdot (a_u k_g^2 + a_n \beta \tau) \right)_i.$$

След заместване на израза за сечението на проводника

$$(5) \quad s_i = \frac{\rho P_i l_i}{\Delta U_{adi} U_n}$$

в уравнение (4) се получава

$$(6) \quad \wp_{wi} = \left( \frac{(K_a + c_1 K)}{(1+e)^t} \right)_i + \frac{(K_b + c_1 K)_i \rho P_i l_i}{\Delta U_{adi} U_n (1+e)^t} + \frac{P_i \Delta U_{adi}}{(1+e)^t} \cdot \frac{(a_u k_g^2 + a_n \beta \tau)_i}{U_n l_i \cos^2 \varphi}$$

където  $\Delta U_{adi}$  е допустимата загуба на напрежението в активното съпротивление от захранващия да крайния възел;  $P_i$  - активната мощност по  $i$ -ти електропровод;  $U_n$  - номиналното напрежение;  $\cos \varphi$  - факторът на мощността;  $l_i$  - дължината на  $i$ -ти електропровод.

След въвеждане в уравнение (6) на означенията:

$$H_{1i} = \left( \frac{(K_a + c_1 K)}{(1+e)^t} \right)_i;$$

$$H_{2i} = \frac{(K_b + c_1 K)_i \rho P_i l_i}{U_n (1+e)^t};$$

$$H_{3i} = \frac{P_i}{(1+e)^t} \cdot \frac{(a_u k_g^2 + a_n \beta \tau)_i}{U_n l_i \cos^2 \varphi},$$

се получава:

$$(7) \quad \varphi_{Wi} = H_{1i} + \frac{H_{2i}}{\Delta U_{adi}} + H_{3i} \Delta U_{adi}.$$

За определяне на минималните дисконтирани разходи в мрежата при сумарни загуби на напрежението от захранващия до всеки краен възел, по-малки от допустимите стойности, е необходимо да са удовлетворени условията

$$(8) \quad \varphi_{Wi} = H_{1i} + \frac{H_{2i}}{\Delta U_{adi}} + H_{3i} \Delta U_{adi} = \min;$$

$$(9) \quad \sum_{i=1}^j \Delta U_i \leq \Delta U_{\delta},$$

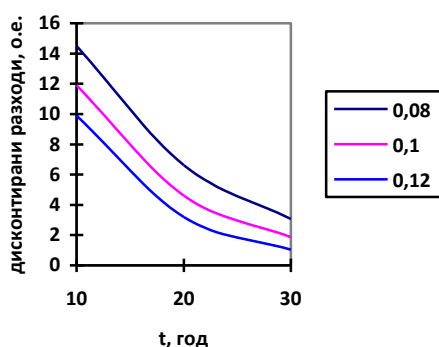
където  $j$  е броят на участъците от захранващия до крайния възел на разглеждания клон от разпределителната мрежа.

Решаването на уравнения (8) и (9) за всички участъци от разглеждания клон на електрическата разпределителна мрежа е двукритериална оптимизационна задача [7,8,9,10,11]. За нейното решаване е съставен софтуер, предназначен за електрически мрежи с брой на възлите до 255 и на клоновете до 106.

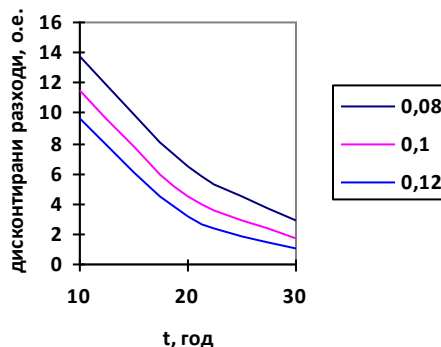
Компютърната програма съдържа:

- блок за съставяне на конфигурацията на отворената разклонена мрежа, съставен по аналогия на алгоритъма от [5];
- блок за решаване на оптимизационна задача при два критерия;
- каталог за електрическите параметри на използваните типови сечения на проводниците;
- блок за представяне на изходните данни.

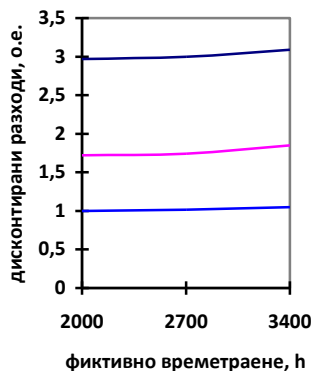
Компютърната програма е реално приложима за всички разпределителни мрежи за средно напрежение. Изходните данни за провеждане на изчисленията са: граници на изменение на пренасяните мощности от 2,5 до 4,5 MW; номинално напрежение 20 kV; средна дължина на клоновете 15 km (от 5 km до 25 km); проводници тип AC 95, AC 70, AC 50, AC 35; фиктивното времетраене на загубите на мощност от 2000 до 3400 h. В резултат на изпълнение на алгоритъма се получават сеченията на проводниците за всеки участък от електрическата мрежа при едновременно удовлетворяване на двата критерия: минимални дисконтирани разходи и допустима загуба на напрежението. Софтуерът позволява да се получат зависимостите на дисконтираните разходи от основните влияещи фактори. Обобщените резултати от изчисленията на дисконтираните разходи за разпределителните мрежи за номинално напрежение 20 kV са представени на фиг.1 ÷ 4.



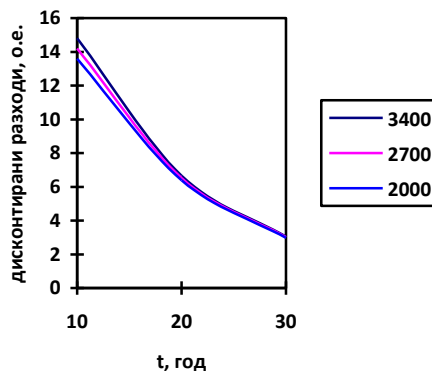
Фиг.1. Дисконтирани разходи в о.е. за фиктивно времетраене на максималния товар 3400 h при  $e=0,08; 0,1$  и  $0,12$



Фиг.2. Дисконтирани разходи в о.е. за фиктивно времетраене на максималния товар 2000 h при  $e=0,08; 0,1$  и  $0,12$



Фиг.3. Дисконтирани разходи в о.е. за  $t=30$  год. при  $e=0,08; 0,1$  и  $0,12$



Фиг.4. Дисконтирани разходи в о.е. за  $e=0,08$  год. при  $\tau=3400$  h;  $2700$  h и  $2000$  h

Анализ на получените изчислителни резултати:

- Наблюдава се съществена зависимост на дисконтираните разходи  $\varphi_w$  от периода  $t$  и нормата на дисконтиране;
- Зависимостта на  $\varphi_w$  от фиктивното времетраене  $\tau$  на максималния товар е незначителна, което е от съществено значение при търсенето на математичен модел за определяне на дисконтираните разходи в разпределителните мрежи.

#### Изводи:

Предложеният подход позволява да се избира сечението на проводниците при едновременно удовлетворяване на два критерия: минимални дисконтирани разходи и допустима загуба на напрежението.

Съставеният софтуер е подходящ за определяне на сечението на проводниците в отворени разклонени мрежи за средно напрежение.

Разработеният алгоритъм позволява провеждане на сравнения на варианти за изграждане на разпределителни мрежи по критериите за минимални дисконтирани разходи и допустима загуба на напрежението.

Предложеният подход значително повишава точността на изчисленията и позволява вземането на оптимални решения в етапа на проектирането на разпределителните мрежи.

#### Литература:

1. Нотов П.П., С.И.Неделчева, Електроенергетика, част първа, МП Издателство на ТУ-София, 2009.
2. Неделчева С.И. Електрически мрежи, МП Издателство на ТУ-София, 2005.
3. Наредба №3 от 9.06.2004 г. за устройството на електрическите уредби и електропроводните линии, обн., ДВ, бр. 90 от 13.10.2004 г. и бр. 91 от 14.10.2004 г., изм. и доп., бр. 108 от 19.12.2007 г.
4. Чобанов В. Енергийна и икономическа ефективност на децентрализирани електроенергийни източници в разпределителни мрежи, Автореферат на дисертация, ТУ-София, 2011 г.
5. Неделчева С., П.Хесапчиев. Компютърна реализация на метод за двукритериален избор на сечението на проводниците на въздушните електропроводи, Юбилейна научна конференция Сливен-97, Сб.доклади, Сливен, 2008.
6. Андонов А.Г., Й.Н.Бакърджиева. Критерии при избор на оптимална конфигурация и възел за секционирание на клоновете в разпределителна мрежа за средно напрежение. Сп. Енергетика, бр.6, 2012, стр. 52-57. <http://www.nek.bg/cgi>.
7. Орлов А.И. Теория на принятия решений. М., Издателство "Март", 2004.
8. Nogin, V.D. Relative importance of criteria: a quantitative approach. J.Multi-Criteria Decision Analysis, Vol.6, 1997, pp. 355-363.

9. Steuer R.E. Multiple Criteria Optimization: Theory, Computations, and Application. New York: John Wiley & Sons, Inc. [ISBN 047188846X](#), 2007.
10. [Steuer](#) R. E. Multiobjective Programming. International Encyclopedia of Operations Research and Management Science, Kluwer Academic Publishers, Boston, pp 532-538, 2001.
11. [Steuer](#) R. E. Multiple Criteria Optimization: Theory, Computation and Application. John Wiley, New York, 546 pp, 1986.