

В.А. Попов, д-р техн. наук, доц., Е.С. Ярмолюк, канд. техн. наук, ст. преп.

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»
**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ И ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ПРИ
 ОЦЕНИВАНИИ РЕЖИМОВ РОБОТЫ СИСТЕМ СОЛНЕЧНОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ**

Разработаны алгоритмы оценок выходной мощности систем солнечного теплоснабжения с учетом неопределенности технических характеристик оборудования, метеорологического, географического и другого ряда факторов на основе использования элементов математического аппарата теории нечетких множеств. Установлено, что при оценке режимов работы системы солнечного теплоснабжения в полной мере учтены отечественные и международные действующие нормативные документы, особенности физических процессов, имеющих место при преобразовании соответственно энергии солнечного излучения в тепловую. Усовершенствована методика определения объемов теплоты, которая может быть получена с помощью систем солнечного теплоснабжения в отдельные характерные периоды суток, учитывая неопределенность, связанную со сложностью прогнозирования температуры окружающего воздуха и облачности неба. В работе предложена структурная схема определения выходной мощности, учитывающая наличие различных паспортных данных, типовых и технических характеристик оборудования и других факторов.

Ключевые слова: недостаточность и недостоверность информации, солнечное излучение, метеорологические факторы, солнечный коллектор.

Надійшла 03.10.2015

Received 03.10.2015

УДК 621.311

М.Й. Бурбело, д-р техн. наук, Л.М. Мельничук, канд. екон. наук
 Вінницький національний технічний університет

**ВИБІР ПЕРЕРІЗУ КАБЕЛІВ У РОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖАХ
 НАПРУГОЮ 10(6) кВ ЗА ЕКОНОМІЧНІСТЮ**

В статті проаналізовано можливість вибору кабелів за економічною густиною струму в сучасних економічних умовах. Визначено значення економічної густини струму для кабелів з паперовою ізоляцією та з ізоляцією із зшитого поліетилену. Показано, що застосування критеріїв Вальда, Гурвіца, Лапласа, Севіджа тісно пов'язано з вибором кабелів за економічною густиною струму за різних його значень в діапазоні невизначеності.

Ключові слова: економічна густина струму, зведені річні витрати, економічний переріз.

Розгляд проблеми і постановка завдання

Переріз кабелів напругою 6...35 кВ вибирають за економічною густиною струму для нормального режиму роботи

$$s_{\text{ек}} = \frac{I_{\text{п}}}{j_{\text{ек}}}, \tag{1}$$

де $j_{\text{ек}}$ – економічна густина струму.

Задачу визначення економічної густини струму в ЛЕП мережі формують у вигляді мінімізації зведених річних витрат

$$З = E(a_0 + a_1 s)l + 3\rho I^2 \frac{l}{s} c_0 \tau \rightarrow \min, \tag{2}$$

де $E = (E_{\text{н}} + E_{\text{а}} + E_{\text{о}})$ – сумарний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень, який містить номативний, амортизаційний та експлуатаційний складники; a_0, a_1 – коефіцієнти, що характеризують залежності вартості ліній від перерізу.

Знайшовши похідну зведених річних витрат за площею перерізу та прирівнявши її до нуля

$$\frac{\partial З}{\partial s} = E a_1 l - 3\rho I^2 \frac{l}{s^2} c_0 \tau = 0, \tag{3}$$

отримують $j_{ек}^2 = \frac{E a_1}{3\rho c_0 \tau}$. Отже, збільшення вартості кабелів приводить до збільшення економічної

густини струму, а збільшення часу максимальних втрат і ціни електроенергії, навпаки, до її зменшення.

Значення економічної густини струму для різних типів кабельних та повітряних ЛЕП в залежності від часу використання максимального навантаження T_M наведено в ПУЕ [4]. Під час розрахунків економічної густини струму, яка наведена в ПУЕ, було прийнято $E=0,2$. Однак оскільки ці значення були отримані в середині минулого століття в інших економічних умовах, то їх застосування у даний час є неприйнятним.

Обґрунтування результатів дослідження

За критерій ефективності в сучасних умовах можна вибрати питомі дисконтовані витрати на 1 км лінії електропередачі, які можна записати у такому вигляді

$$B = \frac{B_o + B_{втр}}{d} + K, \quad (4)$$

де B_o – питомі витрати на технічне обслуговування та ремонт лінії; $B_{втр}$ – питома вартість втрат електроенергії на лінії; K – питомі капітальні вкладення на спорудження лінії; d – норма дисконту, яка залежить від знецінювання коштів, які будуть витрачені в майбутньому на експлуатацію мереж внаслідок інфляції, ступеня ризику інвесторів та рівня ліквідності обладнання.

Складові питомих дисконтованих витрат дорівнюють:

$$B_o = \frac{\alpha_o \%}{100} K; \quad B_{втр} = 3I_M^2 r_0 \tau c_0,$$

де α_o – коефіцієнт відрхувань на технічне обслуговування та ремонти ліній, %; I_M – максимальне навантаження лінії електропередачі; r_0 – питомий опір проводів 1 км лінії; τ – час максимальних втрат.

Визначимо значення економічної густини струму станом на 2012 рік ($c_0=1,05$ грн./кВт год). В табл. 1 наведені вартості кабелів ААБ2л та АПвПг.

Таблиця 1 – Вартість кабелів станом на 2012 рік

$s, \text{мм}^2$	3×50	3×70	3×95	3×120	3×150	3×185	3×240
ААБ2л	58818	69088	79583	89598	102968	118356	143864
АПвПг	104304	119351	136545	149028	167013	186467	213386

В табл. 2 та 3 наведені значення питомих дисконтованих витрат, що визначені за $d=0,2$ відповідно для кабелів ААБ2л та АПвПг.

Таблиця 2 – Питомі дисконтовані витрати для кабелів ААБ2л, тис. грн.

$s, \text{мм}^2$	$\tau=2000$ год для I, A			$\tau=4000$ год для I, A			$\tau=6000$ год для I, A		
	100	150	200	100	150	200	100	150	200
3×50	153,5	-	-	247,8	-	-	342,3	-	-
3×70	136,6	221,0	-	204,1	372,8	-	271,6	524,7	-
3×95	129,3	191,5	278,5	179,1	303,4	477,5	228,8	415,3	676,4
3×120	129,0	178,2	247,1	168,3	266,8	404,6	207,7	355,4	562,1
3×150	134,5	173,8	229,0	166,0	244,7	355,0	197,5	315,6	481,0
3×185	143,9	175,8	220,5	169,4	233,3	322,7	195,0	290,8	424,8
3×240	163,6	188,2	222,6	183,2	232,5	301,4	202,9	276,8	380,1

Таблиця 3 – Питомі дисконтовані витрати для кабелів АПвПг, тис. грн.

$s, \text{мм}^2$	$\tau=2000$ год для I, A			$\tau=4000$ год для I, A			$\tau=6000$ год для I, A		
	100	150	200	100	150	200	100	150	200
3×50	198,8	-	-	293,3	-	-	387,8	-	-
3×70	181,9	271,2	-	254,3	423,1	-	321,9	575,0	-
3×95	186,3	248,5	335,5	236,0	360,4	534,4	285,8	472,3	733,4
3×120	188,4	237,6	306,5	227,8	326,2	464,0	267,2	414,8	621,5
3×150	198,5	237,9	293,0	230,0	308,8	419,0	261,5	379,6	545,0
3×185	212,0	243,9	288,6	237,5	301,4	390,8	263,1	358,9	493,0
3×240	233,1	257,7	292,1	252,8	302,0	370,9	272,4	346,3	449,6

З таблиць випливає, що в 2012 році економічна густина струму для кабелів з паперовою ізоляцією приблизно становить 1 А/мм² для τ=2000 год., 0,65 А/мм² – для τ=4000 год., 0,55 А/мм² – для τ=6000 год., а для кабелів із зшитого поліетилену – 1,25 А/мм² для τ=2000 год., 0,8 А/мм² – для τ=4000 год., 0,6 А/мм² – для τ=6000 год.

Значно більш складним є завдання вибору економічного перерізу за умов невизначенності струму навантаження або економічних умов. Припустимо, що необхідно вибрати кабель зі зшитого поліетилену у випадку, коли значення струму може змінюватися в діапазоні від 100 до 200 А за τ=2000 год.

За критерієм Вальда визначається найкраще рішення за найгірших умов. Тому цей критерій також називається критерієм гарантованого успіху. Оскільки цей критерій орієнтується на найгірші умови, то його називають також критерієм крайнього песимізму. Критерій Вальда (гарантованого успіху) записують у вигляді

$$x^* = \arg \min_{x \in X} \max_{y \in Y} B. \quad (5)$$

За критерієм Вальда найкращим є переріз $x^*=185$ мм², який збігається з кабелем, вибраним за економічною густиною струму для його найбільшого значення.

Критерій Гурвіца (песимізму – оптимізму)

$$x^* = \arg \min_{x \in X} \left(\alpha \max_{y \in Y} B + (1 - \alpha) \min_{y \in Y} B \right). \quad (6)$$

Цей критерій оперує заданим коефіцієнтом песимізму $0 < \alpha < 1$. При $\alpha < 0,5$ критерій Гурвіца характеризує поміркований оптимізм, а при $\alpha > 0,5$ – поміркований песимізм.

За критерієм Гурвіца для $\alpha=0,5$ найкращим є переріз $x^*=150$ мм², для якого медіана витрат за різних струмів найближча до середнього значення витрат. Якщо $\alpha < 0,5$, то оптимальне значення перерізу зменшується, а при $\alpha > 0,5$ – збільшується.

Критерій Лапласа

$$x^* = \arg \min_{x \in X} \sum_{i=1}^n B_i p_i, \quad (7)$$

де p_i – ймовірність появи y_i , яким відповідають витрати B_i .

За критерієм Лапласа у разі рівномірного розподілу навантаження найкращими є перерізи $x^*=120$ та 150 мм², які збігаються з економічною густиною струму для його середнього значення.

Критерій Севіджа (критерій мінімального ризику)

$$x^* = \arg \min_{x \in X} \max_{y \in Y} (B - \min_{x \in X} B). \quad (8)$$

За критерієм Севіджа визначають ризики $\Delta B = B - \min_{x \in X} B$ і знаходять $x^* = \arg \min_{x \in X} \max_{y \in Y} \Delta B$.

Кращим є переріз $x^*=150$ мм², який забезпечує найменше збільшення витрат порівняно з тим, якби були вибрані кабелі з економічними перерізами за різних значень струмів.

В табл. 4 та 5 наведені значення питомих дисконтованих витрат, що визначені за $d=0,15; 0,2$ та $0,25$ у випадку якщо значення струму дорівнює 100 А відповідно для кабелів ААБ2л та АПвПг.

Зі збільшенням дисконтної ставки за сталої вартості кабелів відбувається незначне збільшення економічної густини струму. Однак збільшення дисконтної ставки поступово приведе до збільшення ціни кабелів, що зменшить значення економічної густини струму.

Водночас, у зв'язку з нестабільністю економіки України на початок 2016 року вартість кабелів зростає порівняно з 2012 роком приблизно в 2,6 рази, а ціна електроенергії – в 1,6 рази, що призводить до збільшення економічної густини струму в 1,6 рази.

Таблиця 4 – Питомі дисконтовані витрати за струму 100 А для кабелів ААБ2л, тис. грн.

s, мм ²	τ=2000 год для d			τ=4000 год для d			τ=6000 год для d		
	0,15	0,2	0,25	0,15	0,2	0,25	0,15	0,2	0,25
3×50	184,8	153,5	134,4	310,8	247,8	210,0	436,8	342,3	285,6
3×70	159,1	136,6	123,1	249,1	204,1	177,1	339,1	271,6	231,1
3×95	145,9	129,3	119,4	212,2	179,1	159,2	278,5	228,8	199,0
3×120	142,1	129,0	121,1	194,6	168,3	152,6	247,1	207,7	184,1
3×150	145,0	134,5	128,2	187,0	166,0	153,4	229,0	197,5	178,6
3×185	152,4	143,9	138,8	186,5	169,4	159,2	220,5	195,0	179,7
3×240	170,1	163,6	159,6	196,4	183,2	175,4	222,6	202,9	191,1

Таблиця 5 – Питомі дисконтовані витрати за струму 100 А для кабелів АПвПг, тис. грн.

s, мм ²	τ =2000 год для d			τ =4000 год для d			τ =6000 год для d		
	0,15	0,2	0,25	0,15	0,2	0,25	0,15	0,2	0,25
3×50	230,3	198,8	179,9	356,3	293,3	255,5	482,3	387,8	331,1
3×70	209,4	181,9	173,4	299,4	254,3	227,3	389,3	321,9	281,3
3×95	202,9	186,3	176,3	269,2	236,0	216,1	335,5	285,8	255,9
3×120	201,5	188,4	180,5	254,0	227,8	212,0	306,5	267,2	243,5
3×150	209,0	198,5	192,2	251,0	230,0	217,4	293,0	261,5	242,6
3×185	220,5	212,0	206,9	254,6	237,5	227,3	288,6	263,1	247,8
3×240	239,6	233,1	229,1	265,9	252,8	244,9	292,1	272,4	260,6

Водночас, у зв'язку з нестабільністю економіки України на початок 2016 року вартість кабелів зроста порівняно з 2012 роком приблизно в 2,6 рази, а ціна електроенергії – в 1,6 рази, що призводить до збільшення економічної густини струму в 1,6 рази.

Висновки

Економічна густина струму для кабелів з паперовою ізоляцією в сучасних умовах приблизно становить 1 А/мм² для τ=2000 год., 0,65 А/мм² – для τ=4000 год., 0,55 А/мм² – для τ=6000 год. Економічна густина струму для кабелів із зшитого поліетилену приблизно становить 1,25 А/мм² для τ=2000 год., 0,8 А/мм² – для τ=4000 год., 0,6 А/мм² – для τ=6000 год.

У разі вибору перерізу кабелів за критерієм Вальда (крайнього песимізму) найкращим є переріз, вибраний за економічною густиною струму для його найбільшого значення. За критерієм Гурвіца (поміркованого песимізму) для α=0,5 найкращим є переріз, для якого медіана витрат за різних струмів найближча до середнього значення витрат. За критерієм Лапласа у разі рівномірного розподілу навантаження найкращими є перерізи, які збігаються з економічною густиною струму для його середнього значення. За критерієм Севіджа (мінімального ризику) кращим є переріз, який збігається з рішенням за критерієм Гурвіца і забезпечує найменше збільшення витрат у разі різних значень струмів.

Список літератури

1. Справочник по проектированию электроснабжения / [под ред. Ю. Г. Барыбина и др.]. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 576 с.
2. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию / [под ред. А. А. Федорова]. – М. : Энергоатомиздат, 1986.– Т.1 – 580 с., 1987.– Т.2 – 591с.
3. Зорин В. В. Системы электроснабжения общего назначения : учебник для студентов вузов / В. В. Зорин, В. В. Тисленко. – Чернигов : ЧГТУ, 2005. – 341 с.
4. Правила улаштування електроустановок. – Харків : Вид-во «Форт», 2011. – 736 с.

M.J. Burbelo, L.M. Melnychuk

SELECT PROFILE CABLE IN DISTRIBUTION NETWORK VOLTAGE 10(6) kV ECONOMY

The article analyzes the choice of cables on economic current density in the current economic conditions. The values of economic current density for paper insulated cables with XLPE insulation. It is shown that the application of the criteria Wald, Hurwitz, Laplace, Savage is closely linked with the choice of cables on economic current density at its various values in the range of uncertainty.

Keywords: economic current density, annual adjusted costs, economic profile.

References

1. Barybin Y. (1990), Guide to the design of power supply, Energoatomizdat, Moscow, Russia.
2. Fedorov A. (1986, 1987) Handbook of electricity and electrical equipment, Energoatomizdat, Moscow, Russia.
3. Zorin V., Tislenko V. (2005) Power supply systems, general purpose, Chernihiv State Technological University, Chernihiv, Ukraine.
4. Rules for Electrical Installation (2011), Fort, Kharkiv, Ukraine.

М. И. Бурбело, д-р техн. наук, Л. М. Мельничук, канд. екон. наук

Винницький національний технічний університет

ВЫБОР СЕЧЕНИЯ КАБЕЛЕЙ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ НАПРЯЖЕНИЕМ 10 (6) кВ ПО ЭКОНОМИЧНОСТИ

В статье проанализирована возможность выбора кабелей по экономической плотности тока в современных экономических условиях. Определены значения экономической плотности тока кабелей с бумажной изоляцией и с изоляцией из сшитого полиэтилена. Показано, что применение критериев Вальда, Гурвица, Лапласа, Севиджа тесно связано с выбором кабелей по экономической плотности тока при различных его значениях в диапазоне неопределенности.

Ключевые слова: экономическая плотность тока, годовые приведенные затраты, экономическое сечение.

Надійшла 15.01.2016

Received 15.01.2016