

Проведені дослідження показали, що пріоритетним напрямком проектування ПЛ 110 кВ при транспортуванні потужності $P_{min} \leq P_n < 0,5(P_{max} + P_{min})$ являються КПЛ, а при транспортуванні потужності $0,5(P_{max} + P_{min}) < P_n \leq P_{max}$ пріоритетним напрямком є КСПЛ.

Аналіз альтернативних варіантів з урахуванням діапазону потужності (P), що передається, дозволив вибрати пріоритетний напрямок проектування ПЛ 110 кВ в сучасних умовах.

Висновок. Проведено передпроектний порівняльний аналіз між традиційними, компактними і самокомпенсуючими повітряними лініями 110 кВ з урахуванням сучасних умов по методу Т. Саатті, що дозволить впровадити в практику проектування повітряні лінії підвищеної пропускної здатності.

Список литературы: 1. Черемисин Н.М. Стратегия выбора оптимального решения при проектировании воздушных линий электропередачи / Н.М. Черемисин, В.И. Романченко, В.В. Черкашина // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – Вінниця:ВНТУ.- 2012- №2- С.115 – 118. 2. Александров Г.Н. Перспективные технологии передачи электрической энергии. / Г.Н. Александров // Научно-технические ведомости СПбГТУ. – 2006.– № 2.– С.17 – 25. 3. Постолатий В.М. Управляемые электропередачи / В.М. Постолатий, Е.В. Быкова // Труды института энергетики АН Молдовы – 2007 – № 8 (23) – 234 с. 4. Барбаишов И.В. Общая характеристика современных электрических систем и сетей. Учебно-методическое пособие. / И.В. Барбаишов – Харьков: НТУ «ХПИ», 2003. – 124 с. 5. Ларичев О.И. Теории и методы принятия решений. / О.И. Ларичев. – М.: Логос, 2002. – 392 с. 6. Саати Т.Л. Принятие решений при зависимостях и обратных связях: Аналитические сети. / Т.Л. Саати– М.: Из-во ЛКИ, 2008. — 360 с.

*Надійшла до редколегії
08.11.2013.*

УДК 621.315

Вибір пріоритетного напрямку проектування повітряних ліній 110 кВ в сучасних умовах / Бондаренко В.Е., Черкашина В.В., Трегубова Е.В // Вісник НТУ «ХПИ». Серія: Енергетика: надійність та енергоефективність. – Харків: НТУ «ХПИ». – 2013. - №. – 59 (1032) С. 29 - 32

В статье проведен предпроектный сравнительный анализ между традиционными, компактными и самокомпенсирующими воздушными линиями 110кВ в современных условиях, что позволит внедрить в практику проектирования воздушные линии повышенной пропускной способности.

Ключевые слова: воздушная линия, мощность, пропускная способность.

In the article a pre-project comparative analysis is conducted between traditional, compact and samokompensazion by the air-tracks of 110кВ in modern terms, that will allow to inculcate the air-tracks of enhanceable carrying capacity in practice of planning.

Keywords: air-tracks, power, carrying capacity.

УДК 620.9

А. В. БОРЦОВ, к.т.н., с.н.с., доцент НТУ «ХПИ» ;
Е. И. ПОТОВСКАЯ, инженер 1-й кат. НТУ «ХПИ»

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ НАКЛОННОЙ ПРИНИМАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ

Представлена методика расчета солнечного излучения безоблачного неба для горизонтально расположенной и наклонной принимающей поверхности. Рассмотрены случаи определения мгновенных и суточных значений солнечного излучения. Приведена оценка полученных результатов.

Ключевые слова: солнечное излучение, склонение, широта, принимающая поверхность, азимут, часовой угол Солнца, показатель ясности.

Введение. Целью нашего исследования является энергообеспечение автономных средств связи и контроля обеспечения безопасной работы высоковольтных воздушных линий (ВЛ) электропередачи. Для решения данной задачи были предложены несколько способов энергообеспечения, в частности использование солнечных батарей. На сегодняшний день существуют достаточно подробные таблицы интенсивности солнечного излучения для областных центров Украины [1], тем не менее, эти данные не являются достаточными для целей нашей работы, так как ВЛ не проходят по областным центрам, а расположены вдалеке от населенных пунктов. Метод расчета солнечного излучения (СИ) приведенный в данной статье позволяет определять количество СИ приходящее на принимающую поверхность (ПП) расположенную в произвольном месте имея данные широты, азимута, угла наклона ПП и времени года, для которого необходимо провести расчет.

Количество солнечного излучения полученного поверхностью контролируется, в глобальном масштабе геометрией Земли, атмосферной проницаемостью и относительным размещением Солнца. В местном масштабе излучение изменяется из-за наклона поверхности, перспективы и возвышения. При расчете энергии приходящей на конкретную поверхность используют метеорологические данные по солнечному излучению (R_s), так как эти данные получены для горизонтальных поверхностей, они требуют доработки. Для наклонной поверхности общее солнечное излучение состоит из суммы трех

© А.В.Борцов, Е. И. Потовская 2013

компонентов:

1. прямое излучение – часть солнечного излучения, которая не поглощена и не рассеяна в атмосфере, она достигает поверхности непосредственно от Солнца.

2. диффузное излучение – часть солнечного излучения, которая была рассеяна при прохождении его через атмосферу.

3. отраженное излучение – часть солнечного излучения, которая была отражена от земных поверхностей (этот компонент имеет небольшие размеры).

Предлагаемая методика расчета базируется на ранее известных моделях [2], [3], [4] и [5]. Методика расчета состоит из двух этапов:

1. расчет внеземного солнечного излучения (R_u) для заданных угла наклона и азимута;

2. расчет солнечного излучения для безоблачного неба.

Внеземное солнечное излучение в любой момент времени, при дневном свете, это функция угла падения солнечного излучения:

$$R_u = \frac{G_s \cdot \cos(\theta)}{d^2} \quad (1)$$

где G_s – солнечная постоянная (1367 Вт/м²);

d – относительное расстояние от Земли до Солнца в астрономических единицах;

$\cos(\theta)$ – косинус угла падения солнечного излучения относительно нормали к поверхности земли.

Параметр d – это функция дня года, она может быть рассчитана по формуле [4]

$$d^2 = \frac{1}{1 + 0,033 \cdot \cos\left(\frac{D \cdot 2 \cdot \pi}{365}\right)} \quad (2)$$

где D – день года.

Полное уравнение для нахождения мгновенного угла падения солнечного излучения на наклонную поверхность [5]

$$\cos \theta = \sin \delta \cdot \sin \varphi \cdot \cos S - \sin \delta \cdot \cos \varphi \cdot \sin S \cdot \cos \gamma + \cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos S \cdot \cos \omega + \cos \delta \cdot \sin \varphi \cdot \sin S \cdot \cos \gamma \cdot \cos \omega + \cos \delta \cdot \sin \gamma \cdot \sin S \cdot \sin \omega \quad (3)$$

где δ – склонение Солнца, град.;

φ – широта точки, град.;

S – наклон поверхности, град.;

γ – азимут принимающей поверхности, град. (для принимающей поверхности ориентированной на юг $\gamma = 0^\circ$, для принимающей поверхности ориентированной на восток $\gamma = -90^\circ$; для принимающей

поверхности ориентированной на запад $\gamma = 90^\circ$, для принимающей поверхности ориентированной на север $\gamma = \pm 180^\circ$);

ω – часовой угол Солнца, град. ($\omega = 0$ в солнечный полдень, отрицательный утром и положительный после полудня).

Склонение Солнца рассчитывается исходя из формулы [5]:

$$\delta = 23,45 \cdot \sin \left[\frac{360}{365} \cdot (284 + D) \right] \quad (4)$$

В случае горизонтальной принимающей поверхности ($S = 0$), а азимут не существен уравнение (3) преобразуется к виду:

$$\cos \theta_g = \sin \delta \cdot \sin \varphi + \cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos \omega \quad (5)$$

где, $\cos \theta_g$ – косинус угла падения солнечного излучения относительно нормали к горизонтальной поверхности.

Для получения внеземного солнечного излучения за определенный период проинтегрируем уравнение (3) по ω :

$$\int_{\omega_1}^{\omega_2} \cos \theta d\omega = \sin \delta \cdot \sin \varphi \cdot \cos S \cdot (\omega_2 - \omega_1) - \sin \delta \cdot \cos \varphi \cdot \sin S \cdot \cos \gamma \cdot (\omega_2 - \omega_1) + \cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos S \cdot (\sin \omega_2 - \sin \omega_1) + \cos \delta \cdot \sin \varphi \cdot \sin S \cdot \cos \gamma \cdot (\sin \omega_2 - \sin \omega_1) - \cos \delta \cdot \sin \gamma \cdot \sin S \cdot (\cos \omega_2 - \cos \omega_1) \quad (6)$$

Если брать для ω_1 и ω_2 моменты начала и окончания солнечного дня можно рассчитать, таким образом, количество внеземного солнечного излучения за сутки.

$$\sin \omega_1 = \frac{a \cdot c - b \cdot \sqrt{b^2 + c^2 - a^2}}{b^2 + c^2}; \quad (7)$$

$$\sin \omega_2 = \frac{a \cdot c + b \cdot \sqrt{b^2 + c^2 - a^2}}{b^2 + c^2}, \quad (8)$$

где a , b , c – константы для наклона, широты и азимута принимающей поверхности;

$$a = \sin \delta \cdot \cos \varphi \cdot \sin S - \sin \delta \cdot \sin \varphi \cdot \cos S; \quad (9)$$

$$b = \cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos S + \cos \delta \cdot \sin \varphi \cdot \sin S \cdot \cos \gamma; \quad (10)$$

$$c = \cos \delta \cdot \sin S \cdot \sin \gamma. \quad (11)$$

Для горизонтально расположенной принимающей поверхности ω_1 и ω_2 равны $-\omega_s$ и ω_s , где $-\omega_s$ это часовой угол солнца во время восхода, а ω_s это закатный часовой угол рассчитывается по формуле [5]:

$$\omega_s = \arccos(-\tan \delta \cdot \tan \varphi) \quad (12)$$

Солнечное излучение чистого неба (R_c), его мгновенное значение рассчитывается:

$$R_c = K_{Bo} \cdot R_u + (f_{ia} \cdot K_{Do} + \alpha \cdot (1 + f_i) \cdot [K_{Bo} + K_{Do}]) \cdot R_{ug}, \quad (13)$$

где K_{Bo} – показатель ясности для прямого излучения;
 K_{Do} – показатель ясности для рассеянного излучения;
 f_{ia} – фактор «небесного вида» (sky-view) для анизотропного рассеянного излучения;
 f_i – фактор «небесного вида» для изотропного рассеянного излучения [6];

$$f_i = 0,75 + 0,25 \cdot \cos S - \frac{0,5}{\pi} \cdot S \quad (14)$$

R_{ug} – взнесенное СИ на горизонтальную поверхность, Вт·ч/м²;

$$R_{ug} = \frac{G_s \cdot T}{\pi \cdot d^2} \cdot (\sin \delta \cdot \sin \varphi \cdot \omega_s + \cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \sin \omega_s) \quad (15)$$

где T – время освещенности, ч.

Показатель ясности для прямого СИ [7]:

$$K_{Bo} = 0,98 \cdot \exp \left(\frac{-0,00146 \cdot P}{K_t \cdot \sin \beta} - 0,075 \cdot \left(\frac{W}{\sin \beta} \right)^{0,4} \right) \quad (16)$$

где K_t – эмпирический коэффициент мутности;

P – атмосферное давление, Па;

β – угол Солнца относительно горизонта для горизонтальной принимающей поверхности, град.;

W – эквивалент глубины влагосодержания в атмосфере:

$$W = 0,4 \cdot e_a \cdot P + 2,1 \quad (17)$$

где e_a – фактическое давление пара, Па.

Показатель ясности для рассеянного излучения рассчитывается по формуле:

$$K_{Do} = 0,25 - 0,36 \cdot K_{Bo} \quad \text{для } K_{Bo} \geq 0,15; \quad (18 \text{ а})$$

$$K_{Do} = 0,18 + 0,82 \cdot K_{Bo} \quad \text{для } 0,065 < K_{Bo} < 0,15; \quad (18 \text{ б})$$

$$K_{Do} = 0,1 + 2,08 \cdot K_{Bo} \quad \text{для } K_{Bo} \leq 0,065. \quad (18 \text{ в})$$

В случае мгновенных значений $\sin \beta$ находится из выражения [5]:

$$\sin \beta = \sin \delta \cdot \sin \varphi + \cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos \omega. \quad (19)$$

Для расчета суточного солнечного излучения $\sin \beta$ рассчитывается по формуле:

$$\sin \beta = \frac{(b \cdot g - a \cdot h) \cdot f_1 - c \cdot g \cdot f_2 + (0,5 \cdot b \cdot h - a \cdot g) \cdot f_3 + 0,25 \cdot b \cdot h \cdot f_4 + 0,5 \cdot c \cdot h \cdot f_5}{b \cdot f_1 - c \cdot f_2 - a \cdot f_3} \quad (20)$$

где g и h – константы для широты:

$$g = \sin \delta \cdot \sin \varphi \quad (21)$$

$$h = \cos \delta \cdot \sin \varphi \quad (22)$$

f_1, f_2, f_3, f_4, f_5 – параметры для углов восхода и захода Солнца:

$$f_1 = \sin \omega_2 - \sin \omega_1 \quad (23)$$

$$f_2 = \cos \omega_2 - \cos \omega_1 \quad (24)$$

$$f_3 = \omega_2 - \omega_1 \quad (25)$$

$$f_4 = \sin 2\omega_2 - \sin 2\omega_1 \quad (26)$$

$$f_5 = \sin^2 \omega_2 - \sin^2 \omega_1 \quad (27)$$

Для анизотропного рассеянного излучения [6]:

$$f_{ia} = (1 - K_{Bog}) \cdot \left(1 + \left[\frac{K_{Bog}}{K_{Bog} + K_{Dog}} \right]^{0,5} \cdot \sin^3 \left(\frac{S}{2} \right) \right) \cdot f_i + K_{Bo} \cdot \frac{R_u}{R_{ug}} \quad (28)$$

где K_{Bog} – показатель ясности для прямого излучения на горизонтальную принимающую поверхность;

K_{Dog} – показатель ясности для рассеянного излучения на горизонтальную принимающую поверхность.

Суточное значение солнечного излучения для чистого неба состоит из прямого излучения, рассеянного излучения и отраженного излучения:

$$R_c = R_b + R_d + R_r \quad (29)$$

где R_b – суточное значение прямого солнечного излучения, Вт·ч/м²;

R_d – суточное значение рассеянного солнечного излучения, Вт·ч/м²;

R_r – суточное значение отраженного солнечного излучения, Вт·ч/м².

Прямая составляющая солнечного излучения это:

$$R_b = K_{Bo} \cdot R_u \quad (30)$$

Рассеянная составляющая солнечного излучения:

$$R_d = f_{ia} \cdot K_{Dog} \cdot R_{ug} \quad (31)$$

Отраженная составляющая солнечного излучения:

$$R_r = R_{ug} \cdot \alpha \cdot (1 - f_i) \quad (32)$$

Выводы.

Предлагаемая методика расчета солнечного излучения:

1. Позволяет рассчитать количество солнечного излучения в произвольной точке земной поверхности;

2. Учитывает достоинства и недостатки методик [2 – 5];

3. Количество солнечного излучения, рассчитанное по приведенной методике, отличается от табличных значений [1] в среднем не более чем на 16,5 %;

4. Расчетные данные, полученные по предлагаемой методике, для случая наклонного падения солнечного излучения на поверхность

солнечной батареи, расположенной на крыше здания в городе Харькове, подтверждены экспериментально.

Список литературы: 1. <http://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid.cgi?uid=3030>. 2. *Reyfeim K. J. A.* A simple procedure for estimating global daily radiation on any surface. *J. Appl. Meteorol.* – 1978 – № 17 – P. 1126–1131. 3. *Tian Y. Q., Davies-Colley R. J., Gong P., Thorrold B. W.* Estimating solar radiation on slopes of arbitrary aspect. Short communication. *Agric. Forest Meteorol.* – 2001 – № 109 – P. 67–74. 4. *Duffie J. A., Beckman W. A.* Solar Engineering of Thermal Process, 2nd ed. John Wiley and Sons – NY – 1991 – 15 p. 5. *Duffie J. A., Beckman W. A.* Solar Engineering of Thermal Process, 1st ed. John Wiley and Sons – NY – 1980. 6. *Reindl D. T., Beckman W. A., Duffie J. A.* Evaluation of hourly tilted surface radiation models. *Solar Energy* – 1990 – № 45 – P. 9–17. 7. ASCE EWRI The ASCE Standardized Reference Evapotranspiration Equation. Environmental and Water Resources Institute (EWRI) of the American Society of Civil Engineers Task Committee on Standardization of Reference Evapotranspiration Calculation, ASCE, Washington, DC – 2005 – p. 190.

Надійшла до редколегії 09.10.2013

УДК 620.9

Определение интенсивности солнечного излучения для наклонной принимающей поверхности / А. В. Борцов, Е. И. Потовская // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетика: надійність та енергоефективність. – Х. : НТУ «ХПІ», 2013. – № 59 (1032). – С. 34–39. – Бібліогр.: 7 назв.

Представлена методика розрахунку сонячного випромінювання безхмарного неба для горизонтально розташованої і розміщеної під кутом приймаючої поверхні. Розглянуті випадки визначення миттєвих і добових значень сонячного випромінювання. Наведена оцінка отриманих результатів.

Ключові слова: сонячне випромінювання, схилення, широта, приймаюча поверхня, азимут, годинний кут Сонця, показник ясності.

The computing method of the solar radiation for cloudless sky for a horizontal and inclined receiving surfaces, have been submitted. The cases of the definition of instantaneous and daily values of solar radiation, have been considered. The assessment of the findings, have been shown.

Keywords: solar radiation, declination, latitude, receiving surface, aspect angle, hour angle, clearness index.

УДК 621.311.014

Ю.Н. ВЕПРИК, д-р техн наук, проф., НТУ "ХПИ";
О.А. ГАНУС, инж. АК «ХОЕ», асп., НТУ "ХПИ"

ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН В МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЯХ УЗЛОВ ДВИГАТЕЛЬНОЙ НАГРУЗКИ

В статье рассматриваются математические модели переходных процессов в электрических системах с узлами двигательной нагрузки в фазных переменных. Данные модели требуют выполнения на каждом шаге интегрирования вычисления и обращения матриц индуктивностей электрических машин. Предложен алгоритм получения прямых и обратных матриц индуктивностей электрических машин в аналитической форме.

Ключевые слова: энергосистема, переходные процессы, математическая модель, электрические машины, двигательная нагрузка

Вступление. Узлы двигательной нагрузки являются одним из наиболее чувствительных к нарушениям электроснабжения элементов, для предотвращения отрицательных последствий таких нарушений совершенствуются средства противоаварийного управления и защиты, растет насыщенность коммутационным оборудованием. Все внешние, управляющие и защитные воздействия сопровождаются переходными процессами, поэтому возрастает доля переходных процессов и степень их влияния на режимы функционирования как узлов двигательной нагрузки, так и внешней энергосистемы. Возрастают и требования к качеству моделирования переходных аварийных режимов, так как упрощенные модели не обеспечивают требуемой точности решения, имеют ограниченный круг решаемых задач. Чтобы обеспечить точность моделирования представляется целесообразным применение уравнений в фазных переменных и неявных методов численного интегрирования.

Постановка задачи и анализ публикаций. Уравнения вращения электрических машин в фазных переменных из научной и учебной литературы известны, однако приводятся они, как правило, лишь для обоснования перехода к другим системам координат, после чего необходимость в определении параметров в фазных координатах отпадает. Поэтому в настоящее время параметров электрических машин в фазных переменных в справочной литературе нет и методики их определения отсутствуют, что является одним из факторов, ограничивающих применение уравнений в фазных переменных. Задачах моделирования переходных процессов в синхронных и

© Ю. Н. Веприк, О. А. Ганус, 2013