

качів // Механізація сільського господарства: Збірник наукових праць Національного аграрного університету. — Т. V. — Київ: Видавництво НАУ, 1999. — С. 25–27.

2. М и ш и н В. И., К о з ы р с к и й В. В. Математическое моделирование электромеханических процессов в контактных системах, оснащенных активными термостабилизаторами давления // Вісник Українського будинку економічних та науково-технічних знань. — 1999. — № 5. — С. 37–39.

Представлена кафедрой
електроснабження
сільського господарства

Поступила 30.06.2000

УДК 621.311.24

МНОГОЦЕЛЕВАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ КОМПЛЕКСОМ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Докт. техн. наук, проф. БОРИСОВ Р. И., инж. БУРИЧЕНКО В. П.

Херсонский филиал Украинского государственного морского технического университета

Модели оптимизации режимов и структур комплексов возобновляемых источников энергии (ВИЭ) [1, 2] используют методы и средства управления ЭЭС, которые применительно к ВИЭ нуждаются в детализации, развитии и обобщениях.

Это объясняется особенностями применения ВИЭ для малонаселенных и удаленных районов, определяющим влиянием погодных и климатических условий на их работу и, как следствие, разнообразием противоречивых целей и ограничений ситуационного, технологического, экономического, экологического уровней и другими многочисленными факторами.

Математическая модель управления комплексом ВИЭ содержит, как правило, следующие блоки:

определение необходимой энергии в течение года, на каждый день и на следующий расчетный интервал времени;

определение располагаемой энергии на расчетный интервал или период времени;

оптимизация решений для разных сочетаний структур ВИЭ и выбор наиболее подходящей по комплексу технических и экономических условий;

анализ чувствительности решений для разных вариантов сочетания структур ВИЭ: влияние материальных затрат (ремонт, обслуживание ВИЭ и др.); внедрение новых технологий в сельскохозяйственное производство; смена видов отходов для биоинверторов и др.; определение минимума дополнительных затрат, выше которых адекватный экономический эффект не может быть достигнут.

Внедренные и действующие комплексы ВИЭ имеют индивидуальные модели, использование которых требует обсуждения решений для при-

влечения разных подходов к управлению и обобщению разработок методологических основ действующих стандартов.

Комплексы, как правило, взаимодействуют с системами внешнего электроснабжения, отдавая энергию для внешнего потребления в режиме, когда электроэнергия собственного производства при соответствующей стоимости больше, чем потребляемая, или наоборот (при необходимости).

Основной особенностью определения установленной мощности разных источников и ее распределения является сезонность функционирования ВИЭ в обеспечении графика электрической нагрузки. Так, в теплое время года и солнечную погоду наименьшая стоимость вырабатываемой энергии получается на гелиоЭС, которые и занимают место основных в покрытии нагрузки. Осенние и весенние месяцы наиболее благоприятны для работы ветроЭС и гидроЭС (наплавного типа), а в зимнее время покрывают основную нагрузку биоинверторы и ветроЭС. Все это требует учета вероятностных характеристик условий функционирования ВИЭ [3].

Затраты от мощности ВИЭ могут быть определены для квадратичного полинома (4) в виде

$$B_i(P_i) = a_{0i} + a_{1i}P_i + a_{2i}P_i^2, \quad (1)$$

где a_{0i}, a_{1i}, a_{2i} — коэффициенты использования разных ресурсов (с учетом полученных материалов, продуктов, энергоносителей, удобрений и др. в энергетическом эквиваленте).

В процессе функционирования комплекса (1) рассчитывается по данным эксплуатации в виде

$$B(P) = \sum_{j=1}^n \left(B_{ij} - (a_{0i} + a_{1i}P_{ij} + a_{2i}P_{ij}^2) \right)^2 \rightarrow \min, \quad (2)$$

где B_{ij}, P_{ij} — фактические затраты и мощность i -го источника ($i = 1, 2, 3, \dots, N$) для j -го замера ($j = 1, 2, 3, \dots, n$).

Задача оптимизации установленной мощности источников P_i формулируется по минимуму суммарных затрат и известном времени использования T_i

$$\min F_1 = \min \left\{ \sum_{i=1}^n B_i(P_i)T_i \right\}, \quad (3)$$

при ограничениях:

$$\underline{A}_{ki} \leq a_{0i}, a_{1i}, a_{2i} \leq \overline{A}_{ki} \quad (k = 0, 1, 2); \quad (4)$$

$$P_{\max} T_{\max} - \sum_{i=1}^n P_i T_i = 0, \quad (5)$$

где $\underline{A}_{ki}, \overline{A}_{ki}$ — нижний и верхний пределы располагаемого ресурса для составляющих затрат.

Решение относительно P_i определяется методом Лагранжа (при учете ограничений в виде равенства)

$$L_1 = \left\{ \sum_{i=1}^n B_i(P_i)T_i \right\} + \lambda \left\{ P_{\max} T_{\max} - \sum_{i=1}^n P_i T_i \right\}, \quad (6)$$

где λ – неопределенный множитель.

Второе целевое условие определяется по минимуму удельных затрат на выработку энергии (у. е./кВт·ч) и искомому времени использования T_i

$$\min F_2 = \min \frac{1}{n} \left\{ \sum_{i=1}^n \frac{B_i(P_i)}{P_i T_i} \right\}, \quad (7)$$

при ограничении (5); тогда L_2 аналогично L_1 .

Третье целевое условие определяется по максимуму выработки энергии с дополнительным ограничением по ее стоимости, которая должна быть равна (меньше) стоимости энергии внешних источников C_0 , у. е./кВт·ч:

$$\max F_3 = \max \sum_{i=1}^n \{P_i T_i\}; \quad (8)$$

$$\frac{1}{n} \left\{ \sum_{i=1}^n \frac{B_i(P_i)}{P_i T_i} \right\} - C_0 = 0, \quad (9)$$

где n – число источников;

T_i – величина, искомая или заданная;

P_i – искомое значение установленной мощности i -го источника.

Бикритериальная оптимизация позволяет для каждой пары целевых условий и ограничений получить области допустимых решений с последующей дооптимизацией [5].

Объект электропотребления Q (рис. 1) обладает соответствующим графиком с известными значениями максимальной нагрузки $P_{\max} = 1000$ кВт и числом часов ее использования $T_{\max} = 5000$. Комплекс ВИЭ состоит из трех источников: ветроЭС, гидроЭС (наплавного типа), гелиоЭС, при наличии связи с местной электросистемой. Состав ВИЭ определен условиями их действия для данного южного района Украины: скорость ветра – более 6 м/с, $T_1 = 2160$ ч; скорость течения – 2 м/с, $T_2 = 1440$ ч; мощность солнечного излучения – до 800 Вт/м², $T_3 = 5040$ ч. Оптимизация по определению установленных мощностей ВИЭ каждого вида и алгоритмизация распределения нагрузки производятся по условиям (3), (5) и (7), (5).

Зависимости (1) соответствующих источников для данных условий функционирования представлены в виде (у. е./ч):

$$B_1(P_1) = 0,5 + 10^{-2} P_1 + 10^{-4} P_1^2; \quad (10)$$

$$B_2(P_2) = 10 + 2 \cdot 10^{-2} P_2 + 2 \cdot 10^{-4} P_2^2; \quad (11)$$

$$B_3(P_3) = 2 + 10^{-2} P_3 + 2 \cdot 10^{-4} P_3^2. \quad (12)$$

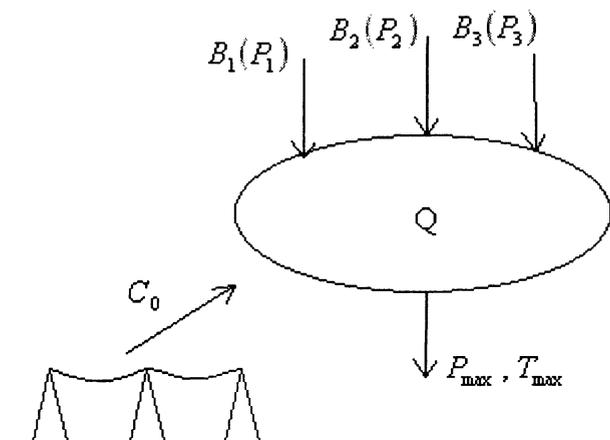


Рис. 1. Структурная схема электрообеспечения

Принятые расчетные себестоимости энергии C_i (у. е./кВт·ч) изменяются в пределах:

$$C_1 = 0,1 \dots 0,3 \text{ [6]; } C_2 = 0,02 \dots 0,4 \text{ [7]; } C_3 = 0,2 \dots 0,6 \text{ [8].}$$

Мощности источников по условиям (3), (5) определяются в виде:

$$P_1 = 930; \quad P_2 = 440; \quad P_3 = 465 \text{ кВт.}$$

Стоимость энергии комплекса составит 0,1008 у. е. за 1 кВт·ч.

Если стоимость энергии комплекса окажется меньше 0,1 у. е. за 1 кВт·ч, то она может быть использована внешними потребителями.

Значение λ показывает, что оптимальное решение имеет место при равенстве относительных затрат для каждого источника

$$\lambda_i = -\frac{\Delta B_i}{\Delta P_i} = -0,196 \quad (i = 1, 2, 3). \quad (13)$$

Для L_2 по условиям (7), (5) параметры решения следующие: $P_1 = 1054,1$ кВт; $P_2 = 1155$; $P_3 = 1355$ кВт; $T_1 = 1456,43$ ч; $T_2 = 1056,00$; $T_3 = 1656,90$ ч; $\lambda = 0,01 \cdot 10^{-3}$.

Как видно, по мощности и времени использования условия (3) и (7) являются противоречивыми. Дооптимизация полученных решений по определению результирующего из множества альтернативных неизбежно связана с использованием эвристических принципов компромисса и привлечением, по мнению оператора, дополнительного целевого условия.

Если ограничиться учетом двух целевых условий, то согласование решений для L_1 и L_2 может производиться, например, на основе ска-

лярной модели по параметрам P_i и T_i ($i = 1, 2, 3$). Поскольку цели для L_1 и L_2 имеют разные размерности, скалярная модель L_3 может определяться в мультипликативном виде

$$L_3 = \left\{ \sum_{i=1}^3 B_i(P_i)T_i \right\}^\beta \times \left\{ \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 \frac{B_i(P_i)}{P_i T_i} \right\}^{1-\beta} + \lambda \left(P_{\max} T_{\max} - \sum_{i=1}^3 P_i T_i \right), \quad (14)$$

где β – весовой коэффициент ($\beta = 0,1 \dots 0,9$).

Параметры результирующего решения для (14): $P_1 = 930$ кВт; $P_2 = 1028,48$ кВт; $P_3 = 1181,218$ кВт; $T_1 = 1456$ ч; $T_2 = 1310,393$ ч; $T_3 = 1945,628$ ч; $\sigma = 0,1 \cdot 10^{-4}$; $\beta = 0,5$.

Таким образом, для условий (3), (5), (7), (14) бикритериальная оптимизация определяет указанные выше значения установленных мощностей разных источников и их время использования за расчетный период.

Для управления распределением мощности расчетное время является фиксированной величиной $\Delta t = 0,5$ ч для целевых условий и ограничений.

Расходные характеристики (1), (2) позволяют распределить мощность между источниками на интервале Δt , если целевое условие определить по минимуму затрат на обеспечение режима или иначе, а ограничение представить в виде разности между располагаемой энергией $\sum_{i=1}^n P_i \Delta t$ и

потребляемой известной величиной $P \Delta t$.

Применение МО обобщает управление ВИЭ единством методологического подхода для решения задач развития и функционирования. Условия (3), (7), (8) и ограничения (4), (5), (9) являются только частью множества требований, которые могут возникнуть в реальных условиях действия комплексов ВИЭ.

Оптимизация управлением ВИЭ требует решения следующих основных задач:

создания информационной базы по обмену опытом комплексного применения ВИЭ;

реализации и сочетания отдельных блоков управления ВИЭ;

технико-экономического обоснования для разных условий применения ВИЭ;

формализации алгоритма дооптимизации решений по конкурентоспособности альтернативных вариантов;

обоснований сезонных расходных характеристик для разных видов и типов ВИЭ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Giorgio Castelli, Fabrizio Mazzetto. A mathematical model for dimensioning integrated energy system. Energia & agricoltura. 2-a Conferenza Internazionale, 13–16 ottobre 1986, Sirmione / Brescia (Italia). – 3. – P. 392–409.

2. U K Breaks Megawatt barrier // Wind Direction – Volum XVII. – № 4. Juli. – 1998. – P. 4–5.

3. Борисов Р. И., Буриченко В. П. Оптимизация выбора установленной мощности ветроэлектростанции // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 1999. – № 5. – С. 58–64.

4. Организация, планирование и управление в энергетике / Под. ред. В. Г. Кузьмина. — М.: Высш. шк., 1982. — 407 с.

5. Борисов Р. И. Формализация основных решающих правил многоцелевой оптимизации управления электроэнергетическими системами // Электричество. — 1986. — № 1. — С. 31–35.

6. Васько П. Ф., Брыль А. А., Пекур П. П. Определение технических показателей качества эффективности использования ветроэлектрических агрегатов в Украине // Энергетика и электрификация. — 1995. — № 2. — С. 48–51.

7. Giorgio Castelli, Fabrizio Mazzetto. Integrated Energy / Systems For Two Farms In Northern Italy // Brescia (Italia). — 3. — P. 15–38.

8. Современное состояние фотопреобразования энергии с использованием кремниевых солнечных элементов: Обзор / В. Л. Августинов, Т. Н. Белоусова, С. И. Власкина и др. // Оптоэлектроника и полупроводниковая техника. — 1995. — Вып. 30. — С. 120–153.

Представлена секцией
машиностроения и энергетики

Поступила 26.04.2000

УДК 621.316.99

ВЛИЯНИЕ СЕЗОННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ ВЕРХНИХ СЛОЕВ ЗЕМЛИ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

**Канд. техн. наук ГЛУШКО В. И.,
инженеры ЯМНЫЙ О. Е., КОВАЛЕВ Э. П.**

НИИПИ РУП «Белэнергосетьпроект»

Электрические характеристики заземляющих устройств (ЗУ) электроустановок (сопротивление растеканию, напряжение прикосновения и шага) в течение года не остаются постоянными, а изменяются в зависимости от сезонных изменений удельного сопротивления верхних слоев земли. В связи с этим проблема влияния грунтово-климатических условий на величину электрических характеристик ЗУ электроустановок уже длительное время является классической, однако до настоящего времени окончательно не решена.

Исключая фактор просыхания верхних слоев земли до глубины прокладки заземлителей (что характерно для условий Республики Беларусь), основной причиной изменения их удельного сопротивления является промерзание грунта на определенную глубину в течение определенного периода года. При этом основными параметрами сезонных изменений верхних слоев земли являются их сезонный коэффициент удельного сопротивления K_c и глубина сезонных изменений земли h_c .

В СССР проблема определения параметров K_c , h_c особенно интенсивно развивалась в 60–70-х гг. в связи с переходом проектирования ЗУ электроустановок с учетом многослойных электрических структур земли. Первые величины K_c , h_c были получены в ВИЭСХе на основе теории распространения потока энергии в земле [1] и представлены во