

## ГЛАВА 4

### ***ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ЭНЕРГИИ СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ И ЭНЕРГИИ ВЕТРА. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МЕТОДАХ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ РАБОТЫ ЭНЕРГО- УСТАНОВОК***

Солнечные и ветровые энергоустановки, предназначенные для производства электроэнергии или тепла, находят все более широкое практическое использование в мире. Большой интерес представляют комбинированные энергокомплексы, сочетающие и солнечные, и ветровые установки, что позволяет обеспечить более стабильную выработку энергии: как правило, в пасмурные дни ветер усиливается, а в солнечные – ослабляется, и таким образом первичные источники энергии как бы дополняют друг друга. Часто такие установки и комплексы работают совместно с традиционными энергоустановками, использующими органическое топливо, в результате существенно сокращается потребление топлива и уменьшается загрязнение окружающей среды. Принципиально солнечные и ветровые установки можно разделить на 2 класса: сетевые и автономные. В первом случае установки работают непосредственно на сеть (электрическую или тепловую), причем их мощность, как правило, существенно меньше мощности сети. В этой ситуации вся выработанная энергия «потребляется» сетью. Сетевые энергоустановки, как правило, не требуют создания аккумуляторов энергии, поскольку аккумулятором является сама сеть.

Во втором случае для надежного энергоснабжения потребителя требуется аккумулировать энергию на периоды, когда мощность первичных преобразователей из-за нестабильности поступления солнечной и ветровой энергии опускается ниже уровня нагрузки. Режимы работы автономных энергоустановок являются более сложными, чем сетевых. Требуется проведение специальных расчетных исследований в обоснование выбора состава и оптимальной конфигурации энергокомплексов, с одной стороны, обеспечивающих надежное бесперебойное энергообеспечение потребителя с учетом реальных климатических условий, особенностей графиков поступления и потребления энергии и, с другой стороны, имеющих минимальную стоимость. Как правило, даже оптимизированные по конфигурации и составу энергоустановки значительную часть времени генерируют мощность, превышающую текущие потребности потребителя. В этот период времени избыток вырабатываемой мощности направляется на заряд аккумуляторов. Однако в ряде случаев вырабатываемая мощность превышает и эти нужды, т.е. является избыточной и, фактически, бесполезно теряется. Эти потери, особенно при условии гарантированного энергоснабжения потребителя в течение всего года, могут достигать заметной доли от годовой выработки энергии.

Таким образом, если для сетевых установок выработку полезной энергии можно с

определенной степенью погрешности считать пропорциональной располагаемой первичной энергии, вводя в качестве коэффициента пропорциональности некое обоснованное значение КПД энергоустановки, то в случае автономных энергокомплексов с аккумуляторами энергии такие упрощенные расчеты являются слишком грубыми.

Для фотоэлектрических преобразователей, работающих на электрическую сеть, способную принять всю выработанную ими электроэнергию, энергию, произведенную за определенный период времени можно считать пропорциональной сумме солнечной радиации за этот период, приходящей на поверхность фотоэлектрического преобразователя:

$$E = \eta_{ФЭП} \cdot \bar{Q}_c \cdot S_{ФЭП} \cdot N, \quad (6)$$

где  $\eta_{ФЭП}$  – КПД фотоэлектрической установки,  $\bar{Q}_c$  – дневная сумма суммарной солнечной радиации, поступающей на приемную поверхность фотопреобразователя (ее можно взять из карт 2...17 для выбранного района, периода времени и угла наклона ФЭП к горизонту),  $S_{ФЭП}$  – площадь фотоэлектрических панелей ( $m^2$ ),  $N$  – число календарных дней в рассматриваемом периоде.

Расчет вырабатываемой ветроустановкой энергии через среднюю скорость ветра является более сложным, поскольку должен учитывать:

– нелинейную зависимость мощности ветроустановки от скорости ветра, являю-

щуюся паспортной характеристикой ветроагрегата;

– особенности функции распределения повторяемости скорости ветра для выбранной местности;

– зависимость средней скорости ветра от высоты расположения ветроколеса над поверхностью земли и ряд других параметров.

В упрощенном варианте такой расчет сверхсложным не является, методику нетрудно найти в специализированных пособиях по ветроэнергетике.

Однако расчет не сложен лишь при условии, что ветроустановка работает на сеть, и вся выработанная электроэнергия сетью полностью принимается. В случае автономных энергоустановок расчеты как для ФЭП, так и для ВЭУ существенно усложняются и, как правило, требуют разработки динамической модели и численного моделирования.

Принципиальные отличия энергоустановок, использующих возобновляемые источники энергии, от традиционных, работающих на органическом топливе, как уже отмечалось выше, определяются низкой плотностью энергетических потоков и их временной нестабильностью. Этими обстоятельствами обуславливаются высокие капитальные затраты на создание таких установок, а также необходимость аккумуляции вырабатываемой ими энергии. Взаимозависимость элементов установки определяет нелинейный характер преобразования энергии в ней, что не позволяет

определять параметры установки, рассматривая ее работу в «расчетном» режиме, как обычно поступают с традиционными энергоустановками. С другой стороны, высокая начальная стоимость установки требует оптимизации ее состава и конфигурации. В этих условиях практически единственным средством оптимизации установки становится имитационное моделирование ее работы в конкретных климатических условиях на конкретную нагрузку.

Выбор той или иной степени детализации функциональных характеристик устройств автономной энергоустановки является основным, определяющим условием полезности имитационной модели установки с точки зрения достижения поставленных целей моделирования. Каждое из устройств энергоустановки является сложным объектом, в котором протекают разнообразные взаимосвязанные физические процессы. Чрезмерное упрощение функционального описания отдельных устройств, очевидно, не позволяет найти адекватные ответы на вопросы оптимизации состава энергоустановки, определения рациональных режимов работы отдельных устройств и установки в целом.

Подбор функционального описания устройств энергоустановки определяется основными целями моделирования:

– минимизация мощности первичных источников энергии, необходимой для обеспечения работы нагрузки;

- оптимизация состава первичных источников энергии в различных географических точках;

- получение оценок требуемой (минимальной) совокупной массы и стоимости установки и отдельных устройств;

- получение оценок и зависимостей параметров устройств энергоустановки от режимов потребления мощности нагрузкой (нагрузками); формулирование рационального режима нагружения;

- получение оценок рациональных параметров устройств для различных регионов, выявление наиболее критичных показателей устройств;

- отработка начальных вариантов алгоритма управления режимами работы устройств энергоустановки;

- сопоставление технико-экономических показателей установки при различных ее конфигурациях.

Удобным и ставшим стандартом де-факто средством имитационного моделирования энергоустановок, использующих возобновляемые источники энергии, является среда моделирования динамических систем TRNSYS [18], разработанная в Висконсинском университете (США) и первоначально предназначенная для расчета систем солнечного теплоснабжения. Среда позволяет моделировать поведение систем, описываемых обыкновенными дифференциальными уравнениями, и представляет собой набор ФОРТРАН-модулей, необходимых для

управления процессом моделирования, описывающих поведение различных элементов моделируемой системы и используемых в качестве «кирпичей» для ее сборки, а также ряда дополнительных сервисных модулей для описания свойств элементов и вспомогательных модулей, в том числе предназначенных для ввода и вывода информации, ее анализа и онлайн-визуализации. Весь этот набор откомпилирован в динамические библиотеки и работает под управлением собственно программы динамического моделирования.

Конфигурация моделируемой системы задается пользователем в виде специального файла описания связей между элементами системы. Этот файл в последних версиях TRNSYS генерируется специальной программой с удобным графическим интерфейсом.

Среда моделирования включает в себя также некоторое количество отдельных программ, предназначенных для решения ряда вспомогательных задач.

Модульный характер TRNSYS, наличие исходного кода и четких правил описания и связывания модулей определяют открытый характер TRNSYS, позволяя пользователю создавать модули описания собственных элементов и включать их в моделируемые системы, расширяя таким образом возможности среды.

Исследования, проведенные рядом зарубежных научных центров и направленные

на определение оптимальной степени детализации исходных климатических данных (шага интегрирования) при моделировании работы солнечных и ветровых установок, показали, что адекватное описание таких установок с приемлемой погрешностью предсказания интегральных энергетических показателей обеспечивается при часовых интервалах представления солнечной радиации. Более мелкие шаги интегрирования не приводят к существенному повышению точности результатов, в то же время резко увеличивая продолжительность расчетов. Увеличение шага интегрирования более 1 часа приводит к существенному повышению погрешности расчетов. Таким образом, для реализации имитационного моделирования в качестве исходных данных необходимы часовые последовательности метеорологических данных. Такие данные обычно представляются в формате так называемого типичного метеогода (ТМГ), представляющего собой годовую последовательность данных по солнечной радиации (прямой и рассеянной), температуре окружающего воздуха и его влажности, направлению и скорости ветра, сформированную таким образом, чтобы средние месячные параметры этой последовательности соответствовали статистическим характеристикам многолетних рядов метеоданных в данной географической точке [26]. Совершенно очевидным является тот факт, что доступность метеорологических данных, тре-

буемых для построения ТМУ существенно ниже доступности усредненных данных, проблемы доступа к которым обсуждались выше. Именно труднодоступность подобных данных привела к развитию подходов, направленных на стохастическую генерацию часовых рядов метеорологических па-

раметров по их средним месячным значениям [27], достаточно хорошо к настоящему времени реализованную [18, 26].

В качестве примера Атлас содержит полученные в результате обработки данных имитационного моделирования 4 карты, на которых представлены параметры эффек-

тивности одного из наиболее широко применяемого класса систем, использующих солнечную энергию, – солнечных водонагревательных установок. Методика их построения и полученные результаты изложены в следующей главе.