

АНАЛИЗ МЕТОДОВ И ПРОГРАММ РАСЧЕТА КОМПЛЕКСНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ВИЭ

Аннотация. В работа рассмотрены вопросы расчетов комплексных энергетических систем, основанных на различных возобновляемых источниках энергии. Описаны особенности оптимизации таких систем с учетом климатических и территориальных факторов.

Решение вопросов совершенствования систем в любой отрасли невозможно без знания математических методов оптимизации [1].

В Уральском федеральном университете разработана математическая модель и программа расчета комплексной системы энергообеспечения на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ) с использованием метода выпуклой оптимизации [2]. Данная программа отличается тем, что целевая функция, заложенная в ней, базируется на втором моменте распределения (дисперсии) стохастических характеристик конкретной природно-климатической территории и имеет вид:

$$D(Y / a) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sigma_{ij} x_i x_j \Rightarrow \min \quad (1)$$

где x_i – доли установленной мощности каждого из видов возобновляемых источников энергии, входящих в КС ВИЭ;

Y / a – стоимость энергии, вырабатываемой КС ВИЭ за единицу времени;

σ_{ij} – выборочная ковариация, посчитанная по выборкам для Y_i, Y_j .

Физический смысл функции – минимизация дисперсии стоимости энергии, вырабатываемой комплексной системой КС ВИЭ за единицу времени.

Результатом поиска оптимальной КС являлась «пуля Марковица» [3], каждая точка гиперболы которой соответствует минимальной стоимости выработки электроэнергии различных комплексных систем на основе ВИЭ (рис. 1).

Компьютерная программа получила название «Автоматизированный расчет комплексной системы ВИЭ» (АРК-ВИЭ), создана в среде пакета Microsoft Excel и зарегистрирована [4].

Недостатком программы являлось отсутствие автоматического построения графического изображения в теле самой «АРК-ВИЭ». Этот недостаток был устранен при разработке в УрФУ программы визуализации поиска оптимальной комплексной системы, которая выполнена в среде «Adobe Flash Professional CS6» на языке программирования Action Script 3.0 и получила название «VIZPO-RES». Удобство использования программы заключается в её экспортировании в формат «EXE» [5].

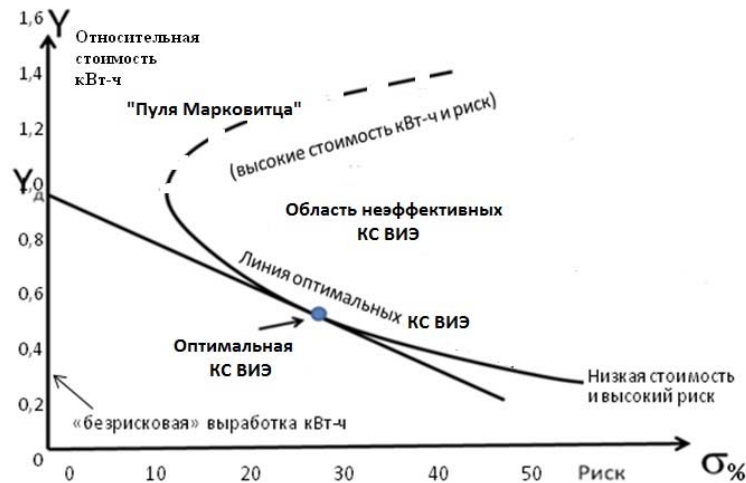


Рис. 1. График поиска оптимального состава комплексной системы ВИЭ

Следующим этапом развития и совершенствования расчета КС ВИЭ явилась программа «VizProRES». Идеология расчета в данной программе базируется на математическом методе «ветвей и границ».

Метод ветвей и границ впервые предложили Ленд и Дойг в 1960 году для решения задач целочисленного программирования [5].

Программа «VizProRES» также выполнена в среде «Adobe Flash Professional CS6» на языке программирования Action Script 3.0. и экспортирована в формат «EXE» для удобства запуска на различных компьютерах.

Процедура ветвления состоит в разбиении множества допустимых значений переменной x на подобласти (подмножества) меньших размеров. Процедуру можно рекурсивно применять к подобластям. Полученные подобласти образуют дерево, называемое «деревом поиска» или «деревом ветвей и границ». Узлами этого дерева являются построенные подобласти.

Процедура нахождения оценок заключается в поиске верхних и нижних границ для решения задачи на подобласти допустимых значений.

При нахождении оптимального состава оборудования целевой функцией является минимум приведенных затрат за год (2).

$$y(x_1, x_2, \dots, x_i) = a_0 + a_1 \cdot x_1 + \dots + a_i \cdot x_i = y_{min} \quad (2)$$

где x_i — количество единиц оборудования i типа;

a_i — приведенные затраты за год одной установкой i типа;

a_0 — суммарная стоимость топлива, потребляемого системой за год.

При этом необходимо учитывать, что вырабатываемая системой энергия должна быть больше или равна потребляемой в каждый момент времени. Для этого должно выполняться условие (формула 3)

$$\sum_{i=1}^n b_{ij} \cdot x_i \geq E_j \quad (3)$$

где x_i — количество единиц оборудования i типа;

b_{ij} — энергия, производимая установкой i типа в j промежуток времени;

n — количество типов оборудования в системе;

E_j — потребляемая энергия в j промежуток времени;

Конечной целью данного расчета становится нахождение количественного состава оборудования каждого типа – x_i . Для решения данной задачи используется метод «ветвей и границ», при котором изменяя параметры x_i мы находим минимум функции y_{min} , при соблюдении всех ограничений. Перебор ведется исходя из ограничений формулы (2 – 3)

$$0 \leq a_i \cdot x_i \leq y_{min} \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n b_{ij} \cdot x_i \geq \sum_{i=1}^m E_j \quad (5)$$

где m – количество равных промежутков времени, которые могут быть приняты 365 и 8760, в зависимости от выбранной периодичности сбора данных, день или час соответственно;

Окно результирующего расчета (рис. 2) показывает состав оборудования, количество установок оборудования ВИЭ, суммарную стоимость оборудования, а также себестоимость выработки 1 кВт·ч данной комплексной системы.

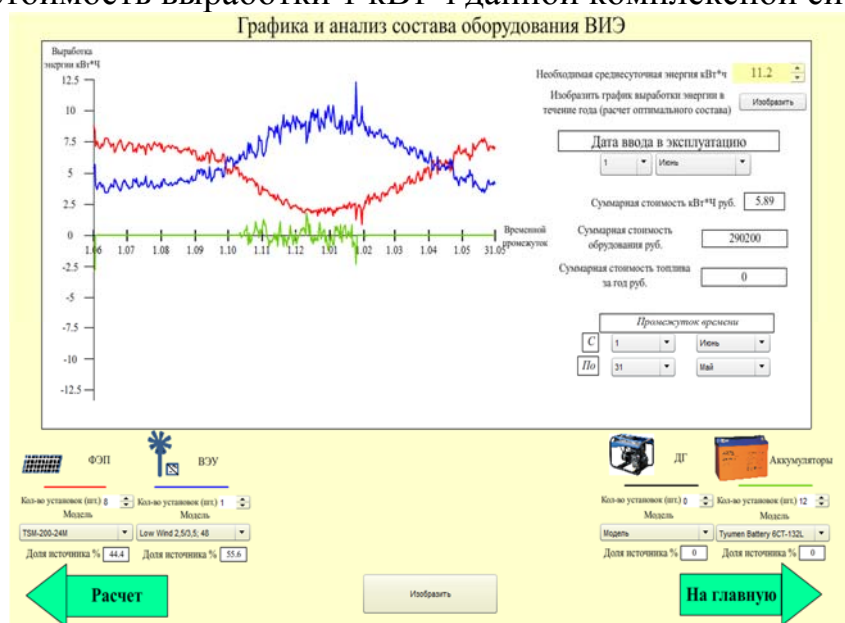


Рис. 2. Результирующее окно программы расчета комплексной системы на основе ВИЭ «VizProRES»

Отличительной чертой компьютерной программы «VizProRES» является автоматическое построение графиков покрытия нагрузки комплексной системой ВИЭ. Достоинством программы, оцененным потребителями, является также конкретный перечень поставщиков оборудования, который может пополняться при каждом расчете, если на рынке появляются более совершенные производители оборудования ВИЭ.

Выводы.

1. Сравнительный анализ расчета и натуральных экспериментов показывает близость результатов обоих методов: «выпуклой оптимизации» и «ветвей и границ». Однако, чем выше установленная мощность КС ВИЭ, тем меньше относительная ошибка, точнее расчет и ниже энергетические потери.

2. Компьютерная программа «VizProRES» явилась развитием программы «АРК-ВИЭ» и позволила визуализировать графики покрытия нагрузки комплексной системой возобновляемых источников энергии.

Список использованных источников

1. Сухарев А. Г., Тимохов А. В., Федоров В. В. Курс методов оптимизации. М. : Наука, 2005. 386. с.
2. Программа автоматизированного расчета кластера ВИЭ «АРК-ВИЭ» : свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013610600, 29.01.2013 / Велькин В. И., Логинов М. И., Чернобай Е. В. ; свидетельство РФ 2013613097 25.03.2013.
3. Markovitz H. M. Portfolio Selection // Journal of Finance. 1952. Vol. 7. № 1. P. 77–91.
4. Программа визуализации поиска оптимального кластера ВИЭ «VIZPO-RES» : свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014611503, 25.02.2014 / Велькин В. И., Денисов К. С., Чернобай Е. В. ; свидетельство РФ 2014614024 14.04.2014.
5. Land A. H., Doig A. G. An automatic method of solving discrete programming problems // Econometrica. 1960. Vol. 28. P. 497-520.

УДК 574.46

Денисов К. С., Хайретдинова Л. Р., Велькин В. И.
Уральский федеральный университет
denser93@mail.ru

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ ПРОГРАММЫ «VizProRES» ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ АВТОНОМНОЙ КОМПЛЕКСНОЙ СИСТЕМЫ ВИЭ

Аннотация. Разработана компьютерная программа «VizProRES» для расчета автономной комплексной системы ВИЭ. Произведен расчёт оптимального состава оборудования на базе НиВИЭ для реальных природно-климатических условий различных регионов страны, при условии полного электроснабжения автономного потребителя. Найдены наиболее эффективные варианты, осуществлен анализ полученных результатов. Получены данные о выработке электрической энергии различными источниками в течение года.

Развитие и внедрение установок возобновляемой энергетики является одной из приоритетных задач во многих стран мира. При этом для повышения эффективности комплексных ВИЭ необходимо знать оптимальный состав основного и вспомогательного оборудования.

В настоящее время за рубежом разработано около ста компьютерных программ по расчету энергосистем на базе ВИЭ. Однако каждая из этих программ имеет свои преимущества и недостатки.

После анализа зарубежного опыта с учетом всех преимуществ и недостатков в Уральском федеральном университете началась разработка отечественного программного комплекса для поиска оптимального состава оборудования кластера ВИЭ [1]. На сегодняшний день зарегистрированы две программы: