

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ОПТИМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МОЩНОСТИ МЕЖДУ ЭНЕРГБЛОКАМИ КЭС

К.Т.Н. Ильичев В.Ю., К.Т.Н. Юрик Е.А.

Калужский филиал ФГОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», Москва, Россия
patrol8@yandex.ru

Методы оптимизации используются при решении многих задач в области энергетики. Одной из таких задач является проблема оптимального перераспределения мощности между энергоблоками электростанции с целью достижения минимального расхода топлива. Это особенно важно для мощных конденсационных электростанций (КЭС), в которых даже относительно малая экономия топлива приводит к значительному экономическому эффекту.

Статья посвящена описанию разработанной методики такой оптимизации, основанной на применении современного метода дифференциальной эволюции, обладающего многими преимуществами перед классическими методами оптимизации. В частности, с его помощью можно найти именно глобальный, а не локальный экстремум целевой функции; также этот метод отличается простотой и широкими возможностями при использовании современных программных средств.

Очень удобно метод дифференциальной эволюции организован в библиотеке SciPy свободно расширяемого языка программирования Python, поэтому на этом языке разрабатывалась расчетная программа для решения поставленной задачи. В работе рассмотрены алгоритм и структура разработанной программы, а также порядок подготовки исходных данных и процесс вычислений на примере конкретной конденсационной электростанции. Упоминаются модули, используемые в программе для заполнения массивов данных, а также для вывода результатов в виде качественных графиков.

С помощью программы построена диаграмма оптимального перераспределения мощностей между энергоблоками для любой суммарной мощности рассматриваемой электростанции. Также для всего диапазона мощностей электростанции вычислен расход условного топлива и экономия топлива при реализации оптимального перераспределения мощностей по сравнению с равномерным распределением.

Полученный программный продукт, доступный всем желающим на сайте авторов статьи, позволяет не только изучать практическое применение метода дифференциальной эволюции, но также создавать на его основе программы для решения прочих задач оптимизации, некоторые из которых упомянуты в статье.

Ключевые слова: оптимизация, перераспределение мощности, эволюционные методы, мощность турбин, метод дифференциальной эволюции, язык Python.

Для цитирования: Ильичев В.Ю., Юрик Е.А. Разработка методики расчета оптимального распределения электрической мощности между энергоблоками КЭС // Известия МГТУ «МАМИ». 2021. № 2 (48). С. 18–25. DOI: 10.31992/2074-0530-2021-48-2-18-25.

Введение

Современные конденсационные электростанции (КЭС) как правило состоят из нескольких энергоблоков, причем каждый из них имеет свою, определяемую экспериментально, фактическую зависимость расхода топлива от вырабатываемой мощности (расходную характеристику).

Целью данной работы является разработка методики вычисления перераспределения общей вырабатываемой мощности электро-

станции между отдельными энергоблоками таким образом, чтобы суммарный расход топлива получался наименьшим.

Методы и средства проведения исследований

Рассматриваемая задача относится к классу оптимизационных. Такие задачи только в простейших случаях могут быть решены с помощью точных математических приемов. Гораздо чаще встречаются случаи, когда решение су-

шествует, но может быть найдено только с использованием численных методов, реализуемых в настоящее время с помощью ЭВМ.

Среди давно применяемых численных методов можно отметить такие как симплекс-метод [1], градиентный метод, метод Ньютона [2] и др. Однако эти методы подходят для решения оптимизационных задач определенного вида и имеют существенные ограничения (по виду и сложности уравнений, по количеству накладываемых условий).

Для обхода этих ограничений в последние годы начали применять так называемые эвристические методы, в которых поиск решения при каждом запуске программы проходит по разному пути, но в конечном итоге приводит к получению одинакового результата. Часто эти методы основаны на аналогиях из живой природы – например, на рассмотрении развития пчелиных семей или муравьиных колоний, или в более общем случае – на синтетической теории эволюции [3].

Одним из наиболее актуальных и универсальных методов поиска оптимального решения является метод дифференциальной эволюции [4], основанный на генерации начальных случайных значений факторов и затем применении к ним эволюционных принципов: скрещивания, мутации, искусственного отбора экземпляров с наилучшими характеристиками и пр. Каждый этап нахождения промежуточных значений (итерация) называется построением популяции факторов. Метод дифференциальной эволюции основан на совместном использовании как закономерных, так и случайных процессов и благодаря этому, в отличие от большинства прочих методов, позволяет находить именно глобальный, а не локальный экстремум оптимизируемой функции.

Представляется оправданным применение метода дифференциальной эволюции при решении поставленной задачи оптимизации перераспределения нагрузки между энергоблоками, так как он надежно работает даже при сложном виде расходных характеристик. Необходимо оценить степень совершенства и прочие достоинства и недостатки рассматриваемой методики, а также выработать рекомендации дальнейшего ее использования для решения прочих проблем оптимизации в энергетической отрасли.

Результаты исследований и их обсуждение

Исходными данными для оптимизации являются расходные характеристики энергоблоков электростанции – зависимости удельного (на единицу мощности) или физического расхода топлива от вырабатываемой электрической мощности.

В табл. 1 приведены такие зависимости для рассматриваемой далее в качестве примера электростанции, состоящей из четырех энергоблоков на основе конденсационных паровых турбин К-100-90 для привода электрогенераторов со следующими начальными параметрами пара: давлением 8,8 МПа; температурой 530 °С и конечным давлением 4 кПа. Максимальная мощность на зажимах электрогенератора составляет 110 МВт, а минимальная допустимая мощность – 30 МВт [5].

Таблица 1 составлена по эксплуатационным данным энергоблоков – для каждой вырабатываемой мощности N , МВт замерен удельный расход условного топлива b_i , кг/(кВт·ч), где i – номер энергоблока. По этим данным с помощью электронных таблиц *Microsoft Excel* рассчитаны и добавлены в таблицу физические

Таблица 1

Расходные характеристики энергоблоков исследуемой электростанции

Table 1. Consumption characteristics of power units of the investigated power plant

N , МВт	b_1 , кг/(кВт·ч)	b_2 , кг/(кВт·ч)	b_3 , кг/(кВт·ч)	b_4 , кг/(кВт·ч)	B_1 , кг/с	B_2 , кг/с	B_3 , кг/с	B_4 , кг/с
30	0,488	0,471	0,527	0,443	4,07	3,93	4,39	3,69
40	0,434	0,427	0,445	0,408	4,82	4,74	4,94	4,53
60	0,369	0,358	0,336	0,344	6,15	5,97	5,60	5,73
80	0,338	0,341	0,321	0,329	7,51	7,58	7,13	7,31
100	0,32	0,333	0,325	0,312	8,89	9,25	9,03	8,67
110	0,313	0,331	0,339	0,302	9,56	10,11	10,36	9,23

расходы условного топлива B_i , кг/с:

$$B_i = \frac{N \cdot b_i}{3,6}.$$

После этого в *Microsoft Excel* для всех энергоблоков построены графики расходных характеристик, приведенные на рис. 1.

С использованием данных характеристик необходимо решить следующую задачу оптимизации: при известной мощности электростанции N определить такие мощности каждого энергоблока N_i , которые обеспечивают минимальный расход топлива на электростанцию B (равный сумме расходов топлива на энергоблоки B_i).

Данные условия можно записать следующим образом:

$$N = N_1 + N_2 + N_3 + N_4, \quad (1)$$

$$B = B_1 + B_2 + B_3 + B_4 \rightarrow \min. \quad (2)$$

Таким образом, условие (1) является ограничением, а условие (2) целевой функцией в рассматриваемой задаче оптимизации. Для решения задачи для каждого энергоблока необходимо определить математическую зависимость расхода топлива от мощности $B_i = f(N_i)$. Это можно сделать путем определения наиболее подходящих аппроксимирующих зависимостей для графиков, представленных на рис. 1.

Аппроксимация осуществлена в *Microsoft Excel* путем построения линий тренда для каждого графика. Оказалось, что наиболее подходящей является полиномиальная аппроксимация кривыми третьего порядка, дающая наилучшее приближение аппроксимирующих кривых к исходному графику. Для расходных характеристик рассматриваемых энергоблоков получены следующие зависимости:

$$\begin{cases} B_1 = 1 \cdot 10^{-6} N_1^3 - 0,0002 N_1^2 + 0,0826 N_1 + 1,768 \\ B_2 = 1 \cdot 10^{-6} N_2^3 - 4 \cdot 10^{-5} N_2^2 + 0,0667 N_2 + 1,9838 \\ B_3 = 5 \cdot 10^{-6} N_3^3 - 0,0003 N_3^2 + 0,0431 N_3 + 3,337 \\ B_4 = -2 \cdot 10^{-6} N_4^3 + 0,0005 N_4^2 + 0,0423 N_4 + 2,1224. \end{cases} \quad (3)$$

Для решения вышеприведенной задачи очень удобно использовать свободно распространяемый язык программирования *Python*, для которого существует специальная библиотека математических методов *SciPy* [6], включающая в себя реализацию метода дифференциальной эволюции [7].

Язык *Python* является достаточно простым для изучения, и используемый в данной работе метод дифференциальной эволюции, представленный в виде специальной команды, также удобен для применения и не требует специальных знаний его особенностей. При этом имеется возможность тонкой настройки параметров команды, а также выбора одной

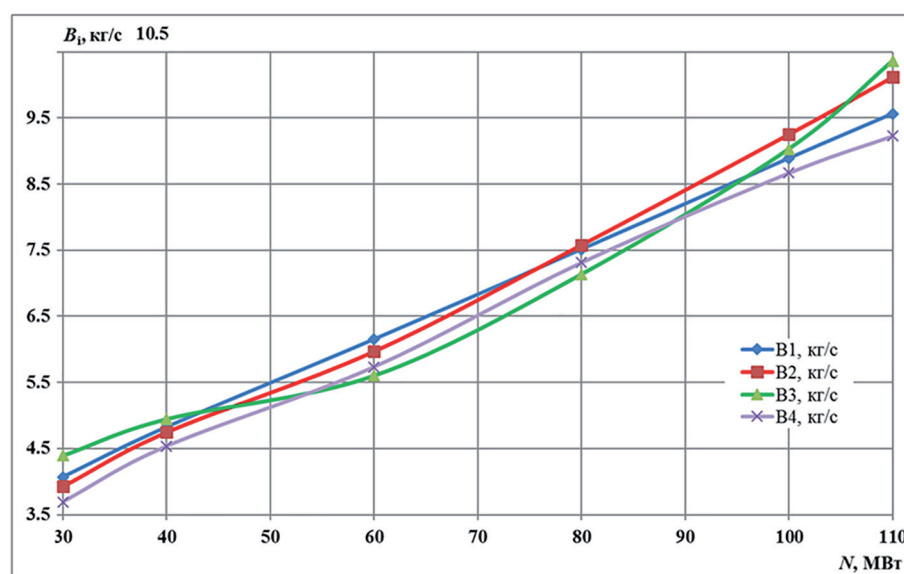


Рис. 1. Расходные характеристики исследуемых энергоблоков

Fig. 1. Consumption characteristics of the investigated power units

из 12 стратегий решения и распараллеливания ресурсоемких задач на несколько процессоров. Для достижения целей данной работы вполне подходят дефолтные настройки метода.

Алгоритм разработанной программы на *Python* состоит из следующих частей:

1. Импорт необходимых команд *Nonlinear Constraint* (нелинейное ограничение), *Bounds* (границы поиска решения) *Differential_evolution* (дифференциальная эволюция) из библиотеки оптимизации *Scipy.optimize*. Также импортируется модуль *Numpy* [8] для осуществления операций над массивами данных и модуль *Matplotlib.pyplot* [9] для вывода промежуточных и окончательных результатов расчетов в виде графиков.

2. Присвоение переменной, представляющей суммарную мощность электростанции, в качестве примера значения $N = 200$ МВт.

3. Ввод условия (1) с использованием лямбда-функции [10] и команды *NonlinearConstraint*.

4. Создание целевой функции (2), используемой в дальнейшем наряду с условием (1) в качестве одного из параметров команды *Differential_evolution*. Значения мощностей N_i и расхода условного топлива B , полученные при каждой итерации (приближении процесса расчета), сохраняются в массивы.

5. Задание с помощью команды *Bounds* наименьшего и наибольшего допустимых значений переменных N_i (которые равны согласно заданию соответственно 30 и 110 МВт).

6. Применение метода дифференциальной эволюции (*Differential_evolution*) и вывод результатов оптимизации при заданной мощности станции N на экран.

7. Использование команд модуля *Matplotlib* для вывода рассчитанных изменений факторов N_i в зависимости от номера итерации, которые приведены на рис. 2. Цвета графиков для каждого энергоблока соответствуют рис. 1.

По данным графическим зависимостям наглядно видна эволюция изменения факторов N_1-N_4 в процессе поиска их оптимальных значений, соответствующих минимальному значению целевой функции B . При каждом запуске программы показанные на рис. 2 пути будут разными так же, как и количество необходимых для поиска решения итераций.

Несмотря на разные пути эволюции оптимизируемой системы от начальных случайных значений, в результате при каждом запуске получаются одинаковые найденные оптимальные

значения факторов. Так как выбрана высокая степень точности результата, на последних итерациях значения практически не изменны.

Для суммарной мощности $N = 200$ МВт получены следующие значения оптимальных мощностей энергоблоков и расхода условного топлива (с точностью до второго знака после запятой): $N_1 = 30,00$ МВт, $N_2 = 60,73$ МВт, $N_3 = 68,86$ МВт, $N_4 = 40,41$ МВт; $B = 21,23$ кг/с.

На рис. 3 показан эволюционный путь движения значения суммарного расхода топлива B к минимальному значению при изменениях факторов N_1-N_4 , соответствующих рис. 2.

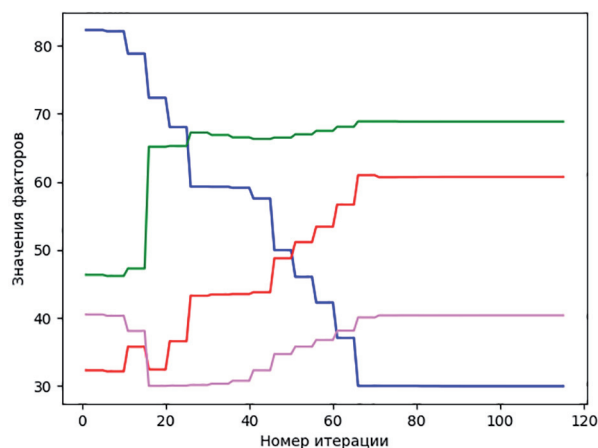


Рис. 2. Изменение факторов
(мощностей энергоблоков N_1-N_4)
в зависимости от номера итерации

Fig. 2. Changes in factors (capacities of power units N_1-N_4) depending on the iteration number

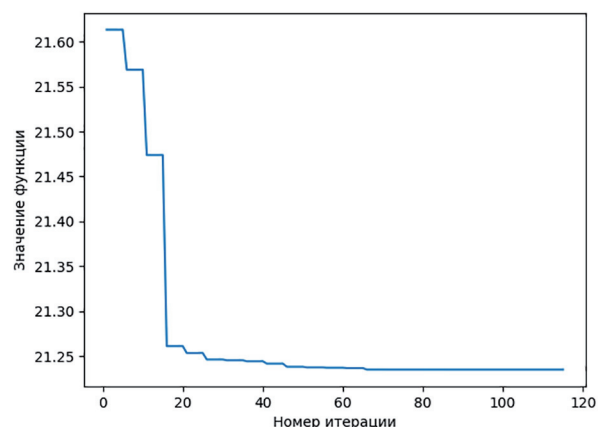


Рис. 3. Изменение значения целевой функции
(расхода топлива на электростанции B)
в зависимости от номера итерации

Fig. 3. Change in the value of the objective function (fuel consumption at power plant B) depending on the iteration number

Для получения оптимального перераспределения мощностей энергоблоков во всем диапазоне возможной суммарной мощности электростанции ($N = 120\text{--}440$ МВт) в расчетной программе организован цикл расчета вышеприведенных параметров в зависимости от N . Результаты также выведены в виде графиков.

На рис. 4 представлена основная, являющаяся целью исследования, зависимость мощностей энергоблоков (факторов $N_1\text{--}N_4$) в зависимости от мощности станции N .

Рис. 4 позволяет при любой мощности станции N определить перераспределение мощности отдельных энергоблоков $N_1\text{--}N_4$, при которых суммарный расход топлива на станцию B принимает минимальное значение. Полученная диаграмма должна использоваться при разработке программы регулирования энергоблоков КЭС.

Фактический расход условного топлива $B = f(N)$, рассчитанный для всех возможных мощностей станции, приведен в графическом виде на рис. 5.

На следующем этапе исследований была произведена оценка зависимости относительной экономии топлива при оптимальном перераспределении мощностей энергоблоков по сравнению со случаем равномерной их загрузки. При равномерной загрузке каждый энергоблок имеет мощность $N_{\text{равн}} = N/4$, а расход топлива $B_{\text{равн}}$ определяется по формуле (3), где все N_i равны $N_{\text{равн}}$. Относительная экономия топлива определялась по формуле:

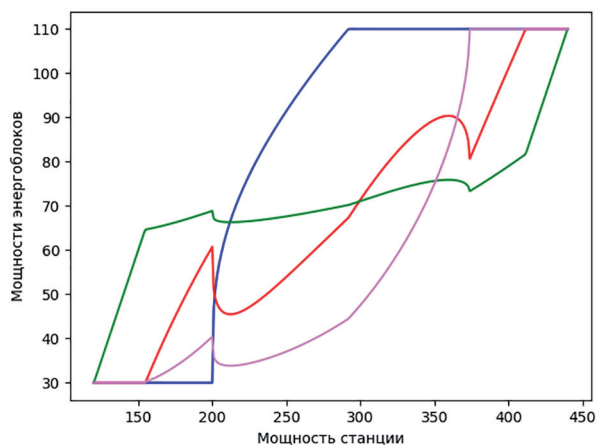


Рис. 4. Перераспределение мощностей энергоблоков $N_1\text{--}N_4$ в зависимости от мощности станции N

Fig. 4. Redistribution of the capacities of power units $N_1\text{--}N_4$ depending on the capacity of the station N

$$\delta = \frac{B_{\text{равн}} - B}{B_{\text{равн}}} 100 \%. \quad (4)$$

Результаты вычислений по формуле (4) для всех возможных мощностей электростанции приведены на рис. 6.

Таким образом, снижение относительного расхода топлива на электростанции при использовании полученной диаграммы оптимального распределения мощности между энергоблоками (рис. 4) по сравнению с равно-

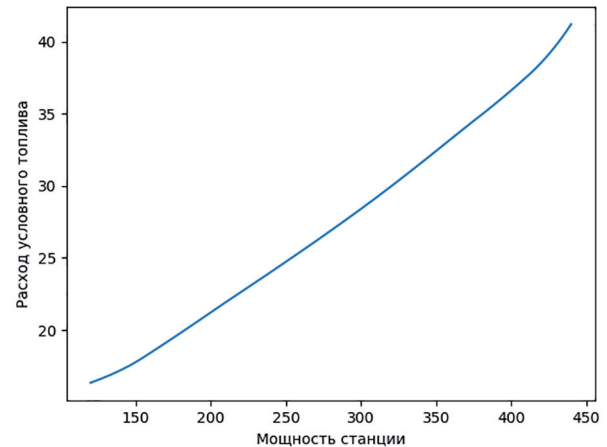


Рис. 5. Расход условного топлива на электростанции при оптимальном распределении мощности между энергоблоками

Fig. 5. Consumption of equivalent fuel at power plants with optimal power distribution between power units

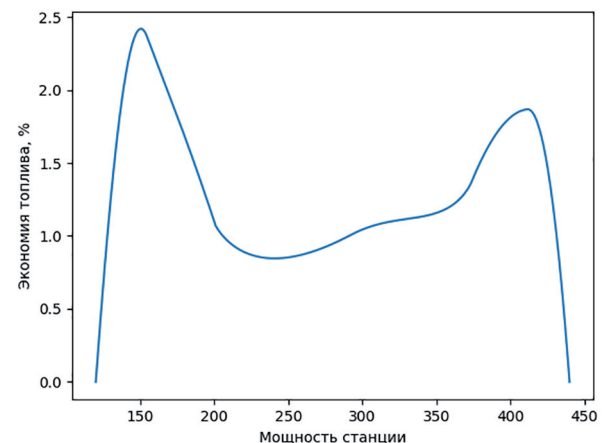


Рис. 6. Экономия топлива при оптимальном перераспределении мощности между энергоблоками по сравнению с равномерным распределением мощности

Fig. 6. Fuel savings with optimal power redistribution between power units versus an even power distribution

мерным их нагружением может достигать величины 2,4 %, что приводит к значительному повышению экономической эффективности рассматриваемой мощной конденсационной электростанции с паровыми турбинами.

Заключение

Таким образом, при достижении целей данной работы были решены следующие задачи:

- произведено краткое сравнение возможностей широко распространенных методов оптимизации и современных эволюционных методов, в частности применяемого в данной работе метода дифференциальной эволюции;
- выбраны и описаны программные средства для реализации задачи оптимизации перераспределения мощности между энергоблоками электростанции с целью обеспечения минимального расхода топлива;
- полностью разработана методика осуществления указанной оптимизации и визуального отображения результатов с помощью языка программирования *Python*;
- произведен расчет примера, показывающий относительную простоту и эффективность применения метода дифференциальной эволюции для решения поставленной задачи;
- составлена диаграмма оптимального перераспределения мощности между энергоблоками конденсационной электростанции.

Код разработанной в ходе проведения исследования и описанной в данной статье программы на языке *Python* представлен на сайте авторов [11] для свободного изучения, применения и модифицирования всеми желающими.

Рассмотренная методика может быть использована для оптимизации перераспределения мощности между энергоблоками любых электростанций (не только паротурбинных КЭС, но и ТЭЦ, в том числе газотурбинных и парогазовых), а также для решения других задач в энергетической отрасли, например:

- перераспределение потоков жидкого и газообразного топлива, доставляемого от места добычи до потребителя [12];
- перераспределение электрической энергии или энергоносителей (потоков пара или горячей воды) в сетях;
- оптимизация инвестиций в различные объекты энергетики с целью получения максимального дохода [13].

В целом, с помощью описанной методики и на основе алгоритма разработанной программы возможно решение широкого круга оптимизационных задач. Проведенные авторами исследования доказывают удобство применения языка *Python* для создания не только программ оптимизации характеристик энергосистем, но и для решения множества других задач [14]. Метод дифференциальной эволюции имеет при этом ряд достоинств по сравнению с прочими численными методами и отличается от них универсальностью.

Помимо того, что автоматизация расчетов при решении рассмотренной задачи является необходимой, ее внедрение должно привести к существенному повышению экономичности при эксплуатации электростанций. Разработанная программа может использоваться при изучении основ оптимизации энергоустановок студентами вузов и персоналом электростанций, а также как наглядная иллюстрация применения наиболее актуальных функций языка *Python* для проведения расчетов в отрасли энергетики.

Литература

1. Зверева Е.Н., Игнатова С.Е., Сергеев А.Н. Применение компьютерных технологий в численных методах для решения задач оптимизации. Учебное пособие / С.-П.: Санкт-Петербургский государственный экономический университет, 2018. 61 с.
2. Сухарев А.Г., Тимохов А.В., Федоров В.В. Численные методы оптимизации. Учебник и практикум (3-е изд., испр. и доп.). М.: Юрайт. 2019. 367 с.
3. Цой Ю.Р. О математических моделях эволюционных алгоритмов // Перспективные информационные технологии и интеллектуальные системы. 2006. № 2. С. 42–47.
4. Мех М.А., Ходашинский И.А. Сравнительный анализ применения методов дифференциальной эволюции для оптимизации параметров нечетких классификаторов // Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. 2017. № 4. С. 65–75.
5. Чепурной М.Н., Резидент Н.В., Дымнич И.Н. Энергетические характеристики турбогенераторов и экономичные режимы их загрузки // Научные труды Винницкого национального технического университета. 2012. № 2. С. 4.
6. SciPy. Optimization and root finding. [Электронный ресурс]. URL: https://docs.scipy.org/doc/scipy/reference/generated/scipy.optimize.differential_evolution.html (Дата обращения 15.03.2021).

7. Газизова О.Р. Аспекты реализации алгоритма дифференциальной эволюции на языке Python // Информационные технологии в процессе подготовки современного специалиста. 2017. С. 13–17.
8. Ильичев В.Ю. Разработка программных средств увеличения изображений с использованием их фрактальных свойств // Системный администратор. 2021. № 1–2 (218–219). С. 124–127.
9. Ильичев В.Ю., Гридчин Н.В. Визуализация масштабируемых 3D-моделей с помощью модуля Matplotlib для Python // Системный администратор. 2020. № 12 (217). С. 86–89.
10. Романенко Р.А., Стухальский А.Л., Прихожий А.А. Использование языков высшего уровня для решения прикладных задач // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ. 2018. Т. 9. С. 97–100.
11. Распределение электрической мощности между энергоблоками. URL: http://turbopython.ru/opt_power (дата обращения: 15.03.2021).
12. Ильичев В.Ю., Чухраев И.В., Чухраева А.И. Решение задачи перераспределения потоков газа на магистральных газопроводах методами линейного программирования // Научные технологии. 2020. Т. 21. № 1. С. 11–17.
13. Ланцова Н.М., Зырянова О.В. Оптимизация распределение прибыли предприятия в сфере энергетики как приоритетный фактор роста и инновационного развития // Вестник образовательного консорциума Среднерусский университет. Серия: Экономика и управление. 2019. № 13. С. 23–26.
14. Ильичев В.Ю., Савин В.Ю. Создание методики двухфакторной оптимизации расходно-энергетической характеристики гидравлической системы // Компрессорная техника и пневматика. 2020. № 4. С. 25–30.
15. Газизова О.Р. Аспекты реализации алгоритма дифференциальной эволюции на языке Python // Информационные технологии в процессе подготовки современного специалиста. 2017. С. 13–17.
16. Мех М.А., Ходашинский И.А. Comparative analysis of the application of differential evolution methods to optimize the parameters of fuzzy classifiers. Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk. Teoriya i sistema upravleniya. 2017. No 4, pp. 65–75 (in Russ.).
17. Chepurnoy M.N., Rezydent N.V., Dymnich I.N. Energy characteristics of turbine generators and economical modes of their loading. Nauchnyye trudy Vinnitskogo natsional'nogo tekhnicheskogo universiteta. 2012. No 2, pp. 4 (in Russ.).
18. SciPy. Optimization and root finding. [Elektronnyy resurs]. URL: https://docs.scipy.org/doc/scipy/reference/generated/scipy.optimize.differential_evolution.html (accessed: 15.03.2021).
19. Gazizova O.R. Implementation aspects of the differential evolution algorithm in Python. Informatsionnyye tekhnologii v protsesse podgotovki sovremennogo spetsialista. 2017, pp. 13–17 (in Russ.).
20. Il'ichev V.YU. Development of software for enlarging images using their fractal properties. Sistemnyy administrator. 2021. No 1–2 (218–219), pp. 124–127 (in Russ.).
21. Il'ichev V.YU., Gridchin N.V. Render scalable 3D models using the Matplotlib Python module. Sistemnyy administrator. 2020. No 12 (217), pp. 86–89 (in Russ.).
22. Romanenko R.A., Stukhal'skiy A.L., Prikhodiy A.A. The use of high-level languages for solving applied problems. Matematicheskiye metody v tekhnike i tekhnologiyakh – MMTT. 2018. Vol. 9, pp. 97–100 (in Russ.).
23. Raspredeleniye elektricheskoy moshchnosti mezhdu energoblokami. URL: http://turbopython.ru/opt_power (accessed: 15.03.2021).
24. Il'ichev V.YU., Chukhrayev I.V., Chukhrayeva A.I. Solution of the problem of redistribution of gas flows on main gas pipelines using linear programming methods. Naukoyemkiye tekhnologii. 2020. Vol. 21. No 1, pp. 11–17 (in Russ.).
25. Lantsova N.M., Zyryanova O.V. Optimization of the distribution of profit of an enterprise in the energy sector as a priority factor for growth and innovative development. Vestnik obrazovatel'nogo konsortsiума Srednerusskiy universitet. Seriya: Ekonomika i upravleniye. 2019. No 13, pp. 23–26 (in Russ.).
26. Il'ichev V.YU., Savin V.YU. Creation of a technique for two-factor optimization of the energy consumption characteristics of a hydraulic system. Kompessornaya tekhnika i pnevmatika. 2020. No 4, pp. 25–30 (in Russ.).

References

1. Zvereva YE.N., Ignatova S.E., Sergeyev A.N. Prime-neniye komp'yuternykh tekhnologiy v chislennykh metodakh dlya resheniya zadach optimizatsii [Application of computer technologies in numerical methods for solving optimization problems]. Uchebnoye posobiye. S.-P.: Sankt-Peterburgskiy gosudarstvennyy ekonomicheskiy universitet Publ., 2018. 61 p.
2. Sukharev A.G., Timokhov A.V., Fedorov V.V. Chislennyye metody optimizatsii [Numerical optimization methods]. Uchebnik i praktikum (3-e izd., ispr. i dop.) Moscow: Yurayt Publ. 2019. 367 p.
3. Tsoy YU.R. Mathematical models of evolutionary algorithms. Perspektivnyye informatsionnyye

DEVELOPMENT OF METHODOLOGY FOR CALCULATION OF OPTIMAL DISTRIBUTION OF ELECTRIC POWER BETWEEN POWER UNITS OF CONDENSING POWER PLANT

PhD in Engineering **V.Y. Ilichev**, PhD in Engineering **E.A. Yurik**
Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia
patrol8@yandex.ru

Optimization methods are used to solve many problems in the field of energy. One of such tasks is the problem of optimal redistribution of power between power units in order to achieve minimum fuel consumption. This is especially important for powerful condensation power plants, where even relatively small fuel savings have significant economic effect.

The article is devoted to description of developed method of such optimization, based on the application of differential evolution, which has many advantages over the "classical" methods of optimization. In particular, it was the global rather than the local extremum of the objective function that could be found; it was also easy and powerful to use with modern software.

Differential evolution method is organized in the library SciPy of Python programming language, so calculation program was developed in this language to solve the problem. The work considers algorithm and structure of the developed program, as well as the procedure for preparing initial data and calculation process using example of a specific condensing power plant. Modules used in the program to populate the data arrays are mentioned, as well as to output the results in the form of high-quality graphs.

With the help of the program, diagram of the optimal redistribution of capacities between power units for any total capacity of the power station is constructed. Also, for entire power range of the power plant, nominal fuel consumption and fuel economy are calculated when implementing the optimal redistribution of capacity in comparison with an even distribution.

Obtained software product, available to everyone on the website of the authors, allows not only to study the practical application of differential evolution method, but also to create programs based on it to solve other optimization problems, some of which are mentioned in the article.

Keywords: optimization, power redistribution, evolutionary methods, turbine power, differential evolution method, Python language.

Cite as: Ilichev V.Y., Yurik E.A. Development of methodology for calculation of optimal distribution of electric power between power units of condensing power plant. *Izvestiya MGTU «MAMI»*. 2021. No 2 (48), pp. 18–25 (in Russ.). DOI: 10.31992/2074-0530-2021-48-2-18-25.