

УДК 620.9

МЕТОДИКА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО ВЫБОРА ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ СИСТЕМ НЕТРАДИЦИОННОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

²Яцынин П.В., ¹Атрощенко В.А., ¹Дьяченко Р.А., ¹Зима А.М.

¹ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный технологический университет»,

Краснодар, e-mail: adm@kgtu.kuban.ru;

²Филиал «Электрогазпроект» АО «Газпром Электрогаз», Краснодар, e-mail: box@egp.elektrogaz.ru

В статье рассмотрены вопросы оптимального выбора оборудования для систем нетрадиционной энергетики на примере блочно-комплектной электрической станции. Методической основой является решение задачи линейного целочисленного бинарного программирования с использованием симплекс-метода. Основным критерием оптимизации выбрана вероятность безотказной работы системы. В качестве ограничений использованы стоимостные и малогабаритные показатели. Формализация задачи основана на использовании структурной схемы блочно-комплектной электрической станции. Решение задачи оптимизации осуществлялось с применением языка программирования Python и пакета по работе с оптимизационными моделями Pyomo. Приведен пример решения задачи в безразмерных единицах. Материалы могут быть использованы при проектировании и создании блочно-комплектных агрегатов нетрадиционной энергетики для повышения надёжности систем в условиях ограниченного финансирования проекта.

Ключевые слова: блочно-комплектная электростанция, оптимизация, python, симплекс-метод, линейное целочисленное бинарное программирование

DECISION SUPPORT METHODS OF OPTIMAL EQUIPMENT CHOICE FOR ALTERNATIVE ENERGY

²Yatsynin P.V., ¹Atroschenko V.A., ¹Dyachenko R.A., ¹Zima A.M.

¹Kuban State Technological University, Krasnodar, e-mail: adm@kgtu.kuban.ru;

²Branch office «Elektrogazproekt» AO «Gazprom Elektrogaz», Krasnodar, e-mail: box@egp.elektrogaz.ru

The paper deals with the optimal choice of equipment for traditional energy as an example of block-complete power plant. Methodical basis of a solution to the problem of binary integer linear programming using the simplex method. The main criterion is chosen to optimize the probability of failure of the system. The constraints used as small-sized and cost performance. The formalization of the problem is based on the block diagram of the block-complete power plant. Solution of the optimization was carried out using the Python programming language and a package for working with optimization models Pyomo. An example of solving the problem in dimensionless units. The materials can be used in the design and construction of complete units of block-alternative energy to improve the reliability of systems with limited funding for the project.

Keywords: block-complete power, optimization, python, simplex method, binary integer linear programming

Процесс выбора оптимальной конфигурации оборудования блочно-комплектной электростанции включает оптимальный выбор оборудования, обладающего максимальной надёжностью.

Структурная схема блочно-комплектной электростанции представлена на рисунке.

Исходными данными для процесса выбора оптимального оборудования блочно-комплектной электростанции являются результаты анализа групп оборудования из баз данных фирм-производителей. На основе этих данных были определены следующие характеристики:

O_1 – множество типов батарей солнечных модулей (BL1-BLm);

O_2 – множество типов ветрогенераторов (GS1-GSn);

O_3 – множество типов аккумуляторных батарей (GB1-GBk);

O_4 – множество типов дизель-генераторов (G1-Gh);

O_5 – множество типов контроллеров солнечных модулей (C1);

O_6 – множество типов понижающих преобразователей постоянного напряжения (C2);

O_7 – множество типов повышающих преобразователей постоянного напряжения (C3);

O_8 – множество типов контроллеров ветрогенератора (I1);

O_9 – множество типов инверторов (I2);

O_{10} – множество типов USB концентраторов (HUB);

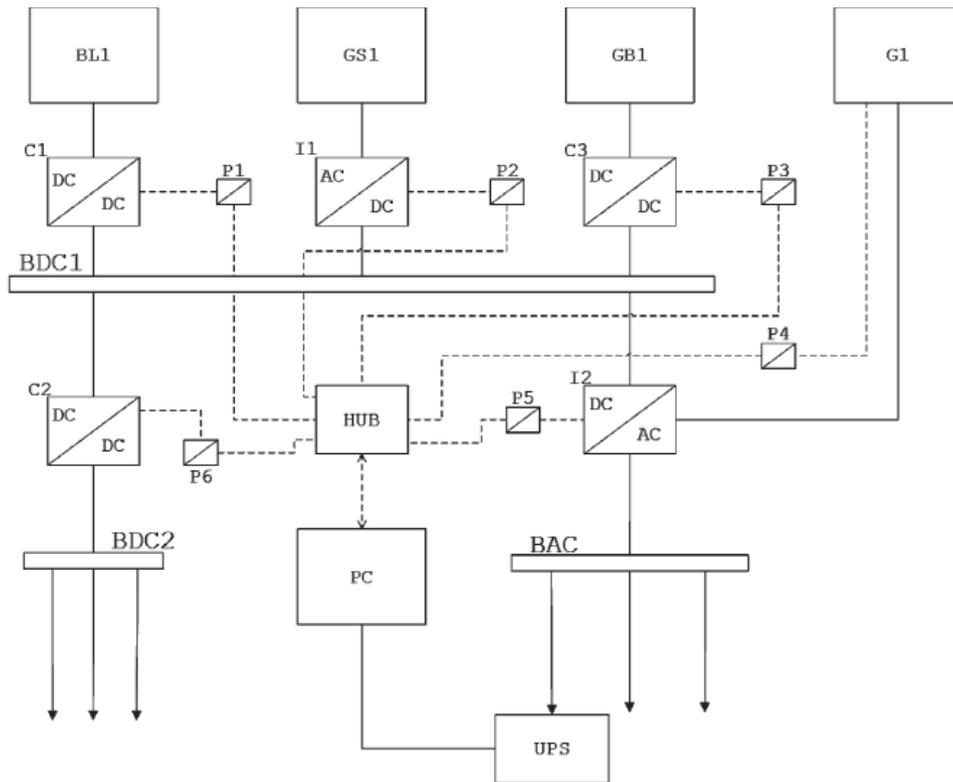
O_{11} – множество типов персональных компьютеров (PC);

O_{12} – множество типов устройств бесперебойного питания (UPS);

O_{13} – множество типов преобразователей интерфейсов (P1-P6);

$C^{(1)}$ – вектор стоимостей $c_j^{(1)}$ типов батарей солнечных модулей, $j_1 = 1, \dots, p(O_1)$.

$C^{(2)}$ – вектор стоимостей $c_j^{(2)}$ типов ветрогенераторов, $j_2 = 1, \dots, p(O_2)$.



Структурная схема блочно-комплектной электростанции

$C^{(3)}$ – вектор стоимостей $c_{j_3}^{(3)}$ типов аккумуляторных батарей, $j_3 = 1, \dots, p(O_3)$.

$C^{(4)}$ – вектор стоимостей $c_{j_4}^{(4)}$ типов дизель-генераторов, $j_4 = 1, \dots, p(O_4)$.

$C^{(5)}$ – вектор стоимостей $c_{j_5}^{(5)}$ типов контроллеров солнечных модулей, $j_5 = 1, \dots, p(O_5)$.

$C^{(6)}$ – вектор стоимостей $c_{j_6}^{(6)}$ типов понижающих преобразователей постоянного напряжения, $j_6 = 1, \dots, p(O_6)$.

$C^{(7)}$ – вектор стоимостей $c_{j_7}^{(7)}$ типов повышающих преобразователей постоянного напряжения, $j_7 = 1, \dots, p(O_7)$.

$C^{(8)}$ – вектор стоимостей $c_{j_8}^{(8)}$ типов контроллеров ветрогенератора, $j_8 = 1, \dots, p(O_8)$.

$C^{(9)}$ – вектор стоимостей $c_{j_9}^{(9)}$ типов инверторов, $j_9 = 1, \dots, p(O_9)$.

$C^{(10)}$ – вектор стоимостей $c_{j_{10}}^{(10)}$ типов USB концентраторов, $j_{10} = 1, \dots, p(O_{10})$.

$C^{(11)}$ – вектор стоимостей $c_{j_{11}}^{(11)}$ типов персональных компьютеров, $j_{11} = 1, \dots, p(O_{11})$.

$C^{(12)}$ – вектор стоимостей $c_{j_{12}}^{(12)}$ типов устройств бесперебойного питания, $j_{12} = 1, \dots, p(O_{12})$.

$C^{(13)}$ – вектор стоимостей $c_{j_{13}}^{(13)}$ типов преобразователей интерфейсов, $j_{13} = 1, \dots, p(O_{13})$.

$M^{(1)}$ – вектор показателей массы $m_{j_1}^{(1)}$ типов батарей солнечных модулей, $j_1 = 1, \dots, p(O_1)$.

$M^{(2)}$ – вектор показателей массы $m_{j_2}^{(2)}$ типов ветрогенераторов, $j_2 = 1, \dots, p(O_2)$.

$M^{(3)}$ – вектор показателей массы $m_{j_3}^{(3)}$ типов аккумуляторных батарей, $j_3 = 1, \dots, p(O_3)$.

$M^{(4)}$ – вектор показателей массы $m_{j_4}^{(4)}$ типов дизель-генераторов, $j_4 = 1, \dots, p(O_4)$.

$M^{(5)}$ – вектор показателей массы $m_{j_5}^{(5)}$ типов контроллеров солнечных модулей, $j_5 = 1, \dots, p(O_5)$.

$M^{(6)}$ – вектор показателей массы $m_{j_6}^{(6)}$ типов понижающих преобразователей постоянного напряжения, $j_6 = 1, \dots, p(O_6)$.

$M^{(7)}$ – вектор показателей массы $m_{j_7}^{(7)}$ типов повышающих преобразователей постоянного напряжения, $j_7 = 1, \dots, p(O_7)$.

$M^{(8)}$ – вектор показателей массы $m_{j_8}^{(8)}$ типов контроллеров ветрогенератора, $j_8 = 1, \dots, p(O_8)$.

$M^{(9)}$ – вектор показателей массы $m_{j_9}^{(9)}$ типов инверторов, $j_9 = 1, \dots, p(O_9)$.

$M^{(10)}$ – вектор показателей массы $m_{j_{10}}^{(10)}$ типов USB концентраторов, $j_{10} = 1, \dots, p(O_{10})$.

$M^{(11)}$ – вектор показателей массы $m_{j_{11}}^{(11)}$ типов персональных компьютеров, $j_{11} = 1, \dots, p(O_{11})$.

$M^{(12)}$ – вектор показателей массы $m_{j_{12}}^{(12)}$ типов устройств бесперебойного питания, $j_{12} = 1, \dots, p(O_{12})$.

$M^{(13)}$ – вектор показателей массы $m_{j_{13}}^{(13)}$ типов преобразователей интерфейсов, $j_{13} = 1, \dots, p(O_{13})$.

$I^{(1)}$ – вектор показателей объема $v_{j_1}^{(1)}$ типов батарей солнечных модулей, $j_1 = 1, \dots, p(O_1)$.

$I^{(2)}$ – вектор показателей объема $v_{j_2}^{(2)}$ типов ветрогенераторов, $j_2 = 1, \dots, p(O_2)$.

$I^{(3)}$ – вектор показателей объема $v_{j_3}^{(3)}$ типов аккумуляторных батарей, $j_3 = 1, \dots, p(O_3)$.

$I^{(4)}$ – вектор показателей объема $v_{j_4}^{(4)}$ типов дизель-генераторов, $j_4 = 1, \dots, p(O_4)$.

$I^{(5)}$ – вектор показателей объема $v_{j_5}^{(5)}$ типов контроллеров солнечных модулей, $j_5 = 1, \dots, p(O_5)$.

$I^{(6)}$ – вектор показателей объема $v_{j_6}^{(6)}$ типов понижающих преобразователей постоянного напряжения, $j_6 = 1, \dots, p(O_6)$.

$I^{(7)}$ – вектор показателей объема $v_{j_7}^{(7)}$ типов повышающих преобразователей постоянного напряжения, $j_7 = 1, \dots, p(O_7)$.

$I^{(8)}$ – вектор показателей объема $v_{j_8}^{(8)}$ типов контроллеров ветрогенератора, $j_8 = 1, \dots, p(O_8)$.

$I^{(9)}$ – вектор показателей объема $v_{j_9}^{(9)}$ типов инверторов, $j_9 = 1, \dots, p(O_9)$.

$I^{(10)}$ – вектор показателей объема $v_{j_{10}}^{(10)}$ типов USB концентраторов, $j_{10} = 1, \dots, p(O_{10})$.

$I^{(11)}$ – вектор показателей объема $v_{j_{11}}^{(11)}$ типов персональных компьютеров, $j_{11} = 1, \dots, p(O_{11})$.

$I^{(12)}$ – вектор показателей объема $v_{j_{12}}^{(12)}$ типов устройств бесперебойного питания, $j_{12} = 1, \dots, p(O_{12})$.

$I^{(13)}$ – вектор показателей объема $v_{j_{13}}^{(13)}$ типов преобразователей интерфейсов, $j_{13} = 1, \dots, p(O_{13})$.

$P^{(1)}$ – вектор значений вероятности безотказной работы $p_{j_1}^{(1)}$ типов батарей солнечных модулей, $j_1 = 1, \dots, p(O_1)$.

$P^{(2)}$ – вектор значений вероятности безотказной работы $p_{j_2}^{(2)}$ типов ветрогенераторов, $j_2 = 1, \dots, p(O_2)$.

$P^{(3)}$ – вектор значений вероятности безотказной работы $p_{j_3}^{(3)}$ типов аккумуляторных батарей, $j_3 = 1, \dots, p(O_3)$.

$P^{(4)}$ – вектор значений вероятности безотказной работы $p_{j_4}^{(4)}$ типов дизель-генераторов, $j_4 = 1, \dots, p(O_4)$.

$P^{(5)}$ – вектор значений вероятности безотказной работы $p_{j_5}^{(5)}$ типов контроллеров солнечных модулей, $j_5 = 1, \dots, p(O_5)$.

$P^{(6)}$ – вектор значений вероятности безотказной работы $p_{j_6}^{(6)}$ типов понижающих преобразователей постоянного напряжения, $j_6 = 1, \dots, p(O_6)$.

$P^{(7)}$ – вектор значений вероятности безотказной работы $p_{j_7}^{(7)}$ типов повышающих преобразователей постоянного напряжения, $j_7 = 1, \dots, p(O_7)$.

$P^{(8)}$ – вектор значений вероятности безотказной работы $p_{j_8}^{(8)}$ типов контроллеров ветрогенератора, $j_8 = 1, \dots, p(O_8)$.

$P^{(9)}$ – вектор значений вероятности безотказной работы $p_{j_9}^{(9)}$ типов инверторов, $j_9 = 1, \dots, p(O_9)$.

$P^{(10)}$ – вектор значений вероятности безотказной работы $p_{j_{10}}^{(10)}$ типов USB концентраторов, $j_{10} = 1, \dots, p(O_{10})$.

$P^{(11)}$ – вектор значений вероятности безотказной работы $p_{j_{11}}^{(11)}$ типов персональных компьютеров, $j_{11} = 1, \dots, p(O_{11})$.

$P^{(12)}$ – вектор значений вероятности безотказной работы $p_{j_{12}}^{(12)}$ типов устройств бесперебойного питания, $j_{12} = 1, \dots, p(O_{12})$.

$P^{(13)}$ – вектор значений вероятности безотказной работы $p_{j_{13}}^{(13)}$ типов преобразователей интерфейсов, $j_{13} = 1, \dots, p(O_{13})$.

c_{\max} – верхняя граница суммарной стоимости оборудования блочно-комплектной электростанции.

m_{\max} – верхняя граница суммарной массы оборудования блочно-комплектной электростанции.

v_{\max} – верхняя граница суммарного объема оборудования блочно-комплектной электростанции.

Введем следующие переменные:

$$x_{j_1}^1 = \begin{cases} 1, & \text{если для всех батарей солнечных модулей в системе выбран} \\ & j_1\text{-й тип батарей солнечных модулей,} \\ 0, & \text{в противном случае,} \end{cases}$$

$$j_1 = 1, \dots, p(O_1).$$

$$x_{j_2}^2 = \begin{cases} 1, & \text{если для всех ветрогенераторов в системе выбран} \\ & j_2\text{-й тип ветрогенераторов,} \\ 0, & \text{в противном случае,} \end{cases}$$

$$j_2 = 1, \dots, p(O_2).$$

$$x_{j_3}^3 = \begin{cases} 1, & \text{если для всех аккумуляторных батарей в системе выбран} \\ & j_3\text{-й тип аккумуляторных батарей,} \\ 0, & \text{в противном случае,} \end{cases}$$

$$j_3 = 1, \dots, p(O_3).$$

$$x_{j_4}^4 = \begin{cases} 1, & \text{если для всех дизель-генераторов в системе выбран} \\ & j_4\text{-й тип дизель-генераторов,} \\ 0, & \text{в противном случае,} \end{cases}$$

$$j_4 = 1, \dots, p(O_4).$$

$$x_{j_5}^5 = \begin{cases} 1, & \text{если для всех контроллеров солнечных модулей в системе выбран} \\ & j_5\text{-й тип контроллеров солнечных модулей,} \\ 0, & \text{в противном случае,} \end{cases}$$

$$j_5 = 1, \dots, p(O_5).$$

$$x_{j_6}^6 = \begin{cases} 1, & \text{если для всех понижающих преобразователей постоянного напряжения в} \\ & \text{системе выбран } j_6\text{-й тип батарей солнечных модулей,} \\ 0, & \text{в противном случае,} \end{cases}$$

$$j_6 = 1, \dots, p(O_6).$$

$$x_{j_7}^7 = \begin{cases} 1, & \text{если для всех повышающих преобразователей постоянного напряжения в} \\ & \text{системе выбран } j_7\text{-й тип батарей солнечных модулей,} \\ 0, & \text{в противном случае,} \end{cases}$$

$$j_7 = 1, \dots, p(O_7).$$

$$x_{j_8}^8 = \begin{cases} 1, & \text{если для всех контроллеров ветрогенератора в системе выбран} \\ & j_8\text{-й тип контроллеров ветрогенератора,} \\ 0, & \text{в противном случае,} \end{cases}$$

$$j_8 = 1, \dots, p(O_8).$$

$$x_{j_9}^9 = \begin{cases} 1, & \text{если для всех инверторов в системе выбран} \\ & j_9\text{-й тип инверторов,} \\ 0, & \text{в противном случае,} \end{cases}$$

$$j_9 = 1, \dots, p(O_9).$$

$$x_{j_{10}}^{10} = \begin{cases} 1, & \text{если для всех USB концентраторов в системе выбран} \\ & j_{10}\text{-й тип USB концентраторов,} \\ 0, & \text{в противном случае,} \end{cases}$$

$$j_{10} = 1, \dots, p(O_{10}).$$

$$x_{j_{11}}^{11} = \begin{cases} 1, & \text{если для всех персональных компьютеров в системе выбран} \\ & j_{11}\text{-й тип персональных компьютеров,} \\ 0, & \text{в противном случае,} \end{cases}$$

$$j_{11} = 1, \dots, p(O_{11}).$$

$$x_{j_{12}}^{12} = \begin{cases} 1, & \text{если для всех устройств бесперебойного питания в системе выбран} \\ & j_{12}\text{-й тип устройств бесперебойного питания,} \\ 0, & \text{в противном случае,} \end{cases}$$

$$j_{12} = 1, \dots, p(O_{12}).$$

$$x_{j_{13}}^{13} = \begin{cases} 1, & \text{если для всех преобразователей интерфейсов в системе выбран} \\ & j_{13}\text{-й тип преобразователей интерфейсов,} \\ 0, & \text{в противном случае,} \end{cases}$$

$$j_{13} = 1, \dots, p(O_{13}).$$

Задача оптимизации выбора оптимального оборудования для блочно-комплектной электростанции, которая обеспечивает максимальную общую надёжность системы, формализуется в виде функции максимизации:

$$\begin{aligned} \max_{x_{j_i}^{(i)}} & \left(\sum_{j_1=1}^{n_1} \log p_{j_1}^{(1)} \cdot x_{j_1}^{(1)} + \sum_{j_2=1}^{n_2} \log p_{j_2}^{(2)} \cdot x_{j_2}^{(2)} + \sum_{j_3=1}^{n_3} \log p_{j_3}^{(3)} \cdot x_{j_3}^{(3)} + \sum_{j_4=1}^{n_4} \log p_{j_4}^{(4)} \cdot x_{j_4}^{(4)} + \right. \\ & + \sum_{j_5=1}^{n_5} \log p_{j_5}^{(5)} \cdot x_{j_5}^{(5)} + \sum_{j_6=1}^{n_6} \log p_{j_6}^{(6)} \cdot x_{j_6}^{(6)} + \sum_{j_7=1}^{n_7} \log p_{j_7}^{(7)} \cdot x_{j_7}^{(7)} + \sum_{j_8=1}^{n_8} \log p_{j_8}^{(8)} \cdot x_{j_8}^{(8)} + \\ & + \sum_{j_9=1}^{n_9} \log p_{j_9}^{(9)} \cdot x_{j_9}^{(9)} + \sum_{j_{10}=1}^{n_{10}} \log p_{j_{10}}^{(10)} \cdot x_{j_{10}}^{(10)} + \sum_{j_{11}=1}^{n_{11}} \log p_{j_{11}}^{(11)} \cdot x_{j_{11}}^{(11)} + \sum_{j_{12}=1}^{n_{12}} \log p_{j_{12}}^{(12)} \cdot x_{j_{12}}^{(12)} + \\ & \left. + 6 \cdot \sum_{j_{13}=1}^{n_{13}} \log p_{j_{13}}^{(13)} \cdot x_{j_{13}}^{(13)} \right) \end{aligned}$$

при структурных ограничениях:

1. Каждая батарея солнечных модулей должна иметь свой тип

$$\sum_{j_1} x_{j_1}^{(1)} = 1, \quad j_1 = 1, \dots, p(O_1).$$

2. Каждый ветрогенератор должен иметь свой тип

$$\sum_{j_2} x_{j_2}^{(2)} = 1, \quad j_2 = 1, \dots, p(O_2).$$

3. Каждая аккумуляторная батарея должна иметь свой тип

$$\sum_{j_3} x_{j_3}^{(3)} = 1, \quad j_3 = 1, \dots, p(O_3).$$

4. Каждый дизель-генератор должен иметь свой тип

$$\sum_{j_4} x_{j_4}^{(4)} = 1, \quad j_4 = 1, \dots, p(O_4).$$

5. Каждый контроллер солнечных модулей должен иметь свой тип

$$\sum_{j_5} x_{j_5}^{(5)} = 1, \quad j_5 = 1, \dots, p(O_5).$$

6. Каждый понижающий преобразователь постоянного напряжения должен иметь свой тип

$$\sum_{j_6} x_{j_6}^{(6)} = 1, \quad j_6 = 1, \dots, p(O_6).$$

7. Каждый повышающий преобразователь постоянного напряжения должен иметь свой тип

$$\sum_{j_7} x_{j_7}^{(7)} = 1, \quad j_7 = 1, \dots, p(O_7).$$

8. Каждый контроллер ветрогенератора должен иметь свой тип

$$\sum_{j_8} x_{j_8}^{(8)} = 1, \quad j_8 = 1, \dots, p(O_8).$$

9. Каждый инвертор должен иметь свой тип

$$\sum_{j_9} x_{j_9}^{(9)} = 1, \quad j_9 = 1, \dots, p(O_9).$$

10. Каждый USB концентратор должен иметь свой тип

$$\sum_{j_{10}} x_{j_{10}}^{(10)} = 1, \quad j_{10} = 1, \dots, p(O_{10}).$$

11. Каждый персональный компьютер должен иметь свой тип

$$\sum_{j_{11}} x_{j_{11}}^{(11)} = 1, \quad j_{11} = 1, \dots, p(O_{11}).$$

12. Каждое устройство бесперебойного питания должно иметь свой тип

$$\sum_{j_{12}} x_{j_{12}}^{(12)} = 1, \quad j_{12} = 1, \dots, p(O_{12}).$$

13. Каждый преобразователь интерфейсов должен иметь свой тип

$$\sum_{j_{13}} x_{j_{13}}^{(13)} = 1, \quad j_{13} = 1, \dots, p(O_{13}).$$

14. Суммарная стоимость всего оборудования не должна превышать верхней границы стоимости оборудования блочно-комплектной электростанции

$$\begin{aligned} & \sum_{j_1=1}^{n_1} c_{j_1}^{(1)} \cdot x_{j_1}^{(1)} + \sum_{j_2=1}^{n_2} c_{j_2}^{(2)} \cdot x_{j_2}^{(2)} + \sum_{j_3=1}^{n_3} c_{j_3}^{(3)} \cdot x_{j_3}^{(3)} + \sum_{j_4=1}^{n_4} c_{j_4}^{(4)} \cdot x_{j_4}^{(4)} + \\ & + \sum_{j_5=1}^{n_5} c_{j_5}^{(5)} \cdot x_{j_5}^{(5)} + \sum_{j_6=1}^{n_6} c_{j_6}^{(6)} \cdot x_{j_6}^{(6)} + \sum_{j_7=1}^{n_7} c_{j_7}^{(7)} \cdot x_{j_7}^{(7)} + \sum_{j_8=1}^{n_8} c_{j_8}^{(8)} \cdot x_{j_8}^{(8)} + \\ & + \sum_{j_9=1}^{n_9} c_{j_9}^{(9)} \cdot x_{j_9}^{(9)} + \sum_{j_{10}=1}^{n_{10}} c_{j_{10}}^{(10)} \cdot x_{j_{10}}^{(10)} + \sum_{j_{11}=1}^{n_{11}} c_{j_{11}}^{(11)} \cdot x_{j_{11}}^{(11)} + \sum_{j_{12}=1}^{n_{12}} c_{j_{12}}^{(12)} \cdot x_{j_{12}}^{(12)} + \\ & + 6 \cdot \sum_{j_{13}=1}^{n_{13}} c_{j_{13}}^{(13)} \cdot x_{j_{13}}^{(13)} \leq c_{\max}. \end{aligned}$$

15. Суммарная масса всего оборудования не должна превышать верхней границы суммарной массы оборудования блочно-комплектной электростанции

$$\begin{aligned} & \sum_{j_1=1}^{n_1} m_{j_1}^{(1)} \cdot x_{j_1}^{(1)} + \sum_{j_2=1}^{n_2} m_{j_2}^{(2)} \cdot x_{j_2}^{(2)} + \sum_{j_3=1}^{n_3} m_{j_3}^{(3)} \cdot x_{j_3}^{(3)} + \sum_{j_4=1}^{n_4} m_{j_4}^{(4)} \cdot x_{j_4}^{(4)} + \\ & + \sum_{j_1=1}^{n_1} m_{j_1}^{(1)} \cdot x_{j_1}^{(1)} + \sum_{j_2=1}^{n_2} m_{j_2}^{(2)} \cdot x_{j_2}^{(2)} + \sum_{j_3=1}^{n_3} m_{j_3}^{(3)} \cdot x_{j_3}^{(3)} + \sum_{j_4=1}^{n_4} m_{j_4}^{(4)} \cdot x_{j_4}^{(4)} + \\ & + \sum_{j_9=1}^{n_9} m_{j_9}^{(9)} \cdot x_{j_9}^{(9)} + \sum_{j_{10}=1}^{n_{10}} m_{j_{10}}^{(10)} \cdot x_{j_{10}}^{(10)} + \sum_{j_{11}=1}^{n_{11}} m_{j_{11}}^{(11)} \cdot x_{j_{11}}^{(11)} + \sum_{j_{12}=1}^{n_{12}} m_{j_{12}}^{(12)} \cdot x_{j_{12}}^{(12)} + \\ & + 6 \cdot \sum_{j_{13}=1}^{n_{13}} m_{j_{13}}^{(13)} \cdot x_{j_{13}}^{(13)} \leq m_{\max}. \end{aligned}$$

16. Суммарный объем всего оборудования не должен превышать верхней границы суммарного объема оборудования блочно-комплектной электростанции

$$\begin{aligned} & \sum_{j_1=1}^{n_1} v_{j_1}^{(1)} \cdot x_{j_1}^{(1)} + \sum_{j_2=1}^{n_2} v_{j_2}^{(2)} \cdot x_{j_2}^{(2)} + \sum_{j_3=1}^{n_3} v_{j_3}^{(3)} \cdot x_{j_3}^{(3)} + \sum_{j_4=1}^{n_4} v_{j_4}^{(4)} \cdot x_{j_4}^{(4)} + \\ & + \sum_{j_5=1}^{n_5} v_{j_5}^{(5)} \cdot x_{j_5}^{(5)} + \sum_{j_6=1}^{n_6} v_{j_6}^{(6)} \cdot x_{j_6}^{(6)} + \sum_{j_7=1}^{n_7} v_{j_7}^{(7)} \cdot x_{j_7}^{(7)} + \sum_{j_8=1}^{n_8} v_{j_8}^{(8)} \cdot x_{j_8}^{(8)} + \\ & + \sum_{j_9=1}^{n_9} v_{j_9}^{(9)} \cdot x_{j_9}^{(9)} + \sum_{j_{10}=1}^{n_{10}} v_{j_{10}}^{(10)} \cdot x_{j_{10}}^{(10)} + \sum_{j_{11}=1}^{n_{11}} v_{j_{11}}^{(11)} \cdot x_{j_{11}}^{(11)} + \sum_{j_{12}=1}^{n_{12}} v_{j_{12}}^{(12)} \cdot x_{j_{12}}^{(12)} + \\ & + 6 \cdot \sum_{j_{13}=1}^{n_{13}} v_{j_{13}}^{(13)} \cdot x_{j_{13}}^{(13)} \leq v_{\max}. \end{aligned}$$

В качестве примера рассмотрим структуру блочно-комплектной электростанции. В состав данной системы входят:

- одна батарея солнечных модулей;
- один ветрогенератор;
- одна аккумуляторная батарея;
- один дизель-генератор;
- один контроллер солнечных модулей;
- один понижающий преобразователь постоянного напряжения;
- один повышающий преобразователь постоянного напряжения;
- один контроллер ветрогенератора;

- один инвертор;
- один USB концентратор;
- один персональный компьютер;
- одно устройство бесперебойного питания;
- шесть преобразователей интерфейсов.

Определить типы оборудования, обладающие максимальной надёжностью при минимальных значениях стоимости и массогабаритных показателей.

Исходные данные Пусть дана группа множеств $O_1 \dots O_{13}$, для которых

$$p(O_1) = 10; p(O_2) = 4; p(O_3) = 5; p(O_4) = 4; p(O_5) = 4; p(O_6) = 4; p(O_7) = 3; p(O_8) = 9;$$

$$p(O_9) = 10; p(O_{10}) = 9; p(O_{11}) = 4; p(O_{12}) = 7; p(O_{13}) = 9;$$

$$C^{(1)} = (173, 295, 59, 91, 239, 146, 200, 51, 83, 211);$$

$$C^{(2)} = (148, 119, 213, 133);$$

$$C^{(3)} = (50, 177, 194, 110, 250);$$

$$C^{(4)} = (133, 94, 275, 150);$$

$$C^{(5)} = (237, 86, 189, 254);$$

$$C^{(6)} = (74, 248, 240, 181);$$

$$C^{(7)} = (222, 119, 296);$$

$$C^{(8)} = (206, 293, 153, 273, 93, 230, 80, 279, 176);$$

$$C^{(9)} = (88, 55, 221, 102, 198, 206, 263, 202, 176, 142);$$

$$C^{(10)} = (170, 73, 53, 215, 174, 276, 285, 90, 159);$$

$$C^{(11)} = (227, 75, 60, 155);$$

$$C^{(12)} = (115, 57, 192, 274, 74, 174, 244);$$

$$C^{(13)} = (73, 274, 171, 187, 209, 248, 265, 257, 296);$$

$$M^{(1)} = (224, 103, 255, 53, 204, 256, 113, 283, 166, 96);$$

$$M^{(2)} = (295, 263, 257, 227);$$

$$M^{(3)} = (158, 224, 239, 284, 280);$$

$$M^{(4)} = (250, 91, 150, 232);$$

$$M^{(5)} = (131, 50, 163, 214);$$

$$M^{(6)} = (194, 193, 76, 227);$$

$$M^{(7)} = (265, 156, 100);$$

$$M^{(8)} = (260, 177, 248, 230, 252, 163, 149, 251, 67);$$

$$M^{(9)} = (72, 55, 196, 237, 242, 91, 146, 61, 118, 61);$$

$$M^{(10)} = (137, 244, 189, 215, 125, 171, 283, 282, 282);$$

$$M^{(11)} = (74, 140, 166, 211);$$

$$M^{(12)} = (271, 291, 249, 206, 108, 211, 198);$$

$$M^{(13)} = (240, 173, 117, 128, 172, 154, 286, 56, 95);$$

$$\begin{aligned}
V^{(1)} &= (678, 846, 984, 939, 1084, 95, 843, 1011, 666, 492); \\
V^{(2)} &= (84, 361, 296, 830); \\
V^{(3)} &= (456, 772, 939, 325, 181); \\
V^{(4)} &= (667, 322, 957, 811); \\
V^{(5)} &= (623, 206, 959, 759); \\
V^{(6)} &= (1025, 597, 420, 105); \\
V^{(7)} &= (474, 175, 1085); \\
V^{(8)} &= (203, 188, 585, 385, 333, 249, 370, 708, 1035); \\
V^{(9)} &= (426, 546, 354, 141, 995, 439, 175, 951, 764, 805); \\
V^{(10)} &= (631, 393, 184, 380, 891, 666, 989, 308, 465); \\
V^{(11)} &= (1030, 972, 658, 643); \\
V^{(12)} &= (723, 458, 694, 461, 515, 779, 398); \\
V^{(13)} &= (63, 641, 700, 861, 653, 571, 553, 861, 429); \\
P^{(1)} &= (0,97; 0,69; 0,3; 0,3; 0,28; 0,84; 0,21; 0,61; 0,82; 0,12); \\
P^{(2)} &= (0,67; 0,96; 0,94; 0,29); \\
P^{(3)} &= (0,45; 0,7; 0,11; 0,09; 0,4); \\
P^{(4)} &= (0,34; 0,097; 0,064; 0,89); \\
P^{(5)} &= (0,59; 0,027; 0,58; 0,64); \\
P^{(6)} &= (0,022; 0,91; 0,61; 0,78); \\
P^{(7)} &= (0,9; 0,07; 0,86); \\
P^{(8)} &= (0,81; 0,1; 0,5; 0,96; 0,37; 0,58; 0,015; 0,27; 0,89); \\
P^{(9)} &= (0,21; 0,41; 0,69; 0,048; 0,62; 0,11; 0,86; 0,65; 0,45; 0,69); \\
P^{(10)} &= (0,069; 0,15; 0,58; 0,61; 0,8; 0,5; 0,55; 0,55; 0,9); \\
P^{(11)} &= (0,52; 0,68; 0,67; 0,65); \\
P^{(12)} &= (0,65; 0,35; 0,6; 0,55; 0,6; 0,98; 0,73); \\
P^{(13)} &= (0,43; 0,8; 0,29; 0,92; 0,68; 0,67; 0,28; 0,075; 0,98); \\
c_{\max} &= 2548; \quad m_{\max} = 2216; \quad v_{\max} = 7408.
\end{aligned}$$

Решение поставленной задачи максимизации с ограничениями выполняется посредством алгоритма симплекс-метод.

Для решения поставленной задачи максимизации с ограничениями используется язык программирования *Python* и *Python*-пакет *Puomo* – это пакет с открытым исходным кодом для языка программирования *Python*, который поддерживает широкий набор возможностей по оптимизации для разработки, решения и анализа оптимизационных моделей.

В результате решения поставленной задачи были получены 26 наборов бинарных

матриц $X^{(1)}, X^{(2)}, X^{(3)}, X^{(4)}, X^{(5)}, X^{(6)}, X^{(7)}, X^{(8)}, X^{(9)}, X^{(10)}, X^{(11)}, X^{(12)}, X^{(13)}$ значения которых дают наглядное представление функции максимизации при соблюдении заданных ограничений:

$$\begin{aligned}
X^{(1)} &= (0, 0, 0, 0, 0, \boxed{1}, 0, 0, 0, 0); \\
X^{(2)} &= (0, 0, \boxed{1}, 0); \\
X^{(3)} &= (\boxed{1}, 0, 0, 0, 0); \\
X^{(4)} &= (0, 0, 0, \boxed{1});
\end{aligned}$$

$$X^{(5)} = (0, 0, 0, \boxed{1});$$

$$X^{(6)} = (0, 0, 0, \boxed{1});$$

$$X^{(7)} = (\boxed{1}, 0, 0);$$

$$X^{(8)} = (0, 0, 0, \boxed{1}, 0, 0, 0, 0);$$

$$X^{(9)} = (0, 0, 0, 0, 0, 0, \boxed{1}, 0, 0, 0);$$

$$X^{(10)} = (0, 0, \boxed{1}, 0, 0, 0, 0, 0, 0);$$

$$X^{(11)} = (0, 0, \boxed{1}, 0);$$

$$X^{(12)} = (0, 0, 0, 0, 0, \boxed{1}, 0);$$

$$X^{(13)} = (0, 0, 0, \boxed{1}, 0, 0, 0, 0, 0);$$

Таким образом, на основе полученных результатов можно сделать вывод о том, что наиболее оптимальным будет решение выбрать шестой тип батареи солнечных модулей, третий тип ветрогенератора, первый тип аккумуляторной батареи, четвертый тип дизель-генератора, четвертый тип контроллера солнечных модулей, четвертый тип понижающего преобразователя постоянного напряжения, первый тип повышающего преобразователя постоянного напряжения, четвертый тип контроллера ветрогенератора, седьмой тип инвертора, третий тип USB концентратора, третий тип персонального компьютера, шестой тип устройства бесперебойного питания, четвертый тип преобразователя интерфейсов из таблиц баз данных соответствующих устройств.

Список литературы

1. Атрощенко В.А. Технические возможности повышения ресурса автономных электростанций энергетических систем – Краснодар: Издательский Дом – Юг, 2010. – 192 с.
2. Шароватов А.С., Лоба И.С., Решетняк М.Г. Разработка алгоритма поиска оптимальной модели // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2012. – № 77. – С. 413–422.

3. Атрощенко В.А., Дьяченко Р.А., Коновалов Д.П. К вопросу выбора резервного дизель-генератора для систем гарантированного электроснабжения // Промышленная энергетика. – 2008. – № 4. – С. 7–8.

4. Атрощенко В.А. Разработка алгоритма определения критического параметра ресурса технических систем // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Информатика. Телекоммуникации. Управление. – 2011. – Т. 3. – № 126. – С. 89–93.

5. Атрощенко В.А., Кабанков Ю.А., Дьяченко Р.А. К вопросу о синтезе оптимальных по быстродействию САР выходного напряжения объектов САЭ // Автоматизированные информационные и электроэнергетические системы: материалы I Межвузовской научно-практической конференции. – Краснодар, 2010. – С. 67–70.

6. Атрощенко В.А. Оптимальное решение нелинейных задач бинарного программирования для распределённой базы данных с постоянными временными характеристиками // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 1. – С. 195.

7. Atroshchenko V.A. Methods of optimization of network structure of technological network of electric power cluster of the region // International Journal of Applied Engineering Research (IJAER). – 2015. – Vol. 10. – P. 41761–42766.

References

1. Atroschenko V.A., Shevtsov Yu.D., Yatsynin P.V., Dyachenko R.A., Pedko M.N. Tekhnicheskie vozmozhnosti povysheniya resursa avtonomnykh elektrostantsiy energeticheskikh sistem [Technical possibilities of increasing the resource autonomous power energy systems] Krasnodar, Izdatelskiy Dom Jug, 2010. 192 p.

2. Sharovатов A.S., Loba I.S., Reshetnyak M.G. Politematicheskii setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2012. no. 77. pp. 413–422.

3. Atroschenko V.A., Dyachenko R.A., Konovalov D.P. Promyshlennaya energetika. 2008. no. 4. pp. 7–8.

4. Atroschenko V.A., Dyachenko R.A., Sharovатов A.S., Litvinov Yu.N. Nauchno-tekhnicheskie vedomosti Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo politekhnicheskogo universiteta. Informatika. Telekommunikatsii. Upravlenie. 2011. vol. 3. no. 126. pp. 89–93.

5. Atroschenko V.A., Kabankov Yu.A., Dyachenko R.A. V sbornike: Avtomatizirovannye informatsionnye i elektroenergeticheskie sistemy Materialy I Mezhvuzovskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Krasnodar, 2010. pp. 67–70.

6. Atroschenko V.A., Usatkov S.V., Dyachenko R.A., Tishkovskij D.V. Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. 2013. no. 1. pp. 195.

7. Atroshchenko V.A., Belchenko V.Ye., Belchenko I.V., Dyachenko R.A. International Journal of Applied Engineering Research (IJAER). 2015. Vol.10. pp. 41761–42766.