

## МЕТОДИКА ОПТИМАЛЬНОГО ВЫБОРА ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ СИСТЕМ ГАРАНТИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Атрощенко В.А.<sup>1</sup>, Кабанков Ю.А.<sup>1</sup>, Лоба И.С.<sup>1</sup>, Дьяченко Р.А.<sup>1</sup>

*ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный технологический университет», Краснодар, Россия (350072, г.Краснодар, ул. Московская, 2А) email: emessage@rambler.ru*

В настоящее время, задача создания методики построения систем гарантированного электроснабжения (СГЭ), с последующим оптимальным выбором для нее оборудования, является актуальной. Для решения задачи оптимального выбора оборудования для СГЭ, сформулированной в виде задачи бинарного целочисленного программирования, предлагается алгоритм решения, который разбивает исходную задачу на подзадачи. Первая задача решается с использованием СУБД. Решение второй задачи сводится к применению дополнительного программного обеспечения, которое позволяет преобразовать информацию к задаче синтеза, решать задачу бинарного целочисленного программирования, формирование выходных данных и отчетов. Выходные данные можно создавать при помощи средств языка программирования *Matlab*, в результате отчеты можно компилировать в исполняемый файл и в дальнейшем использовать для создания более сложных модульных систем. Данная методика позволяет использовать различные динамические показатели и дополнительные критерии.

Ключевые слова: база данных, оптимизация, системы гарантированного электроснабжения, целочисленное линейное программирование.

## A METHOD FOR OPTIMAL SELECTION OF EQUIPMENT FOR SYSTEMS OF GUARANTEED ELECTRIC SUPPLY

Atroshenko V.A.<sup>1</sup>, Kabankov U.A.<sup>1</sup>, Loba I.S.<sup>1</sup>, Dyachenko R.A.<sup>1</sup>

*<sup>1</sup>Kuban State Technological University, Krasnodar, Russia, (350072, Krasnodar, street Moscow, 2A) email: emessage@rambler.ru*

Currently, the task of creating a method for constructing systems of guaranteed electric supply (EGM), with subsequent optimal choice of equipment is important. For solving the problem of optimal selection of equipment for EGM, formulated as a problem of binary integer programming, we offer a solution algorithm, which splits the original problem into subproblems. The first problem is solved with the use of DBMS. The second problem is to use additional software that allows you to convert the information to the synthesis problem, solve the problem of binary integer programming, generation of output data and reports. The output can be created by means of the programming language *Matlab*, the reports can be compiled into an executable file and later be used to create more complex modular systems. This technique allows the use of different dynamic indicators and additional criteria.

Keywords: database, optimization, systems of guaranteed electric supply, an integer linear programming.

Современные системы электро и теплоснабжения представляют собой сложные энергетические структуры с дорогостоящим оборудованием. Высокая надежность данных систем определяется наличием в их составе резервных источников электрической энергии постоянного и переменного тока, преобразовательных устройств, аппаратуры управления, автоматики, защиты, распределения и коммутации, т.е. систем гарантированного электроснабжения (СГЭ).

Создание новых перспективных систем связано с решением задачи выбора оптимальных вариантов для различных исходных данных. В этих условиях задача создания методики построения систем гарантированного электроснабжения, с последующим оптимальным выбором для нее оборудования, является актуальной.

В настоящее время, задача синтеза оптимальных структур рассмотрена в [2,1]. Авторами исследованы вопросы синтеза оптимальных структур СГЭ, исходя из различных требований потребителей электроэнергии, однако, вопросы, связанные с оптимальным подбором соответствующего оборудования для синтезированных структур, рассмотрены не были.

### **Постановка задачи**

Задачу оптимального выбора оборудования для СГЭ можно сформулировать в виде задачи бинарного целочисленного программирования [3]

$$\min_x f \cdot x \quad (1)$$

$$A \cdot x \leq b \quad (2)$$

$$A_{eq} \cdot x \leq b_{eq} \quad (3)$$

где  $x$  – бинарная целочисленная переменная-вектор множества всех устройств, из которых возможно построение системы;

$f$  – вектор параметров линейной целевой функции, характеризующей СГЭ;

$A$  – матрица, состоящая из коэффициентов линейных ограничений-неравенств;

$b$  – вектор ограничений-неравенств;

$A_{eq}$  – матрица структурных ограничений;

$b_{eq}$  – вектор структурных ограничений.

Наличие на-м месте в векторе хединицы означает о присутствии в структуре устройства с номером  $i$ , ноль – отсутствие устройства в структуре.

В такой форме задача выбора (минимизации) эквивалентна двоичному перебору на множестве всех устройств, которые потенциально могут быть элементами СГЭ.

### **Практические условия решения задачи**

В статических условиях, когда множество устройств не изменяется во времени и имеет небольшую размерность, задача является тривиальной. В случае, если упомянутое множество имеет большую размерность и подвержено постоянным изменениям (например, связанным с увеличением количества устройств на рынке или с изменениями требований предъявляемых к ним), задача перестает быть простой и требует наличия специальной методики решения, а также специального программного обеспечения.

В этом случае задача разбивается на две подзадачи:

1. Подзадача хранения, отслеживания и актуализации информации об элементной базе;
2. Подзадача выбора устройств на основе актуальной информации.

Информацию о множестве устройств, которые потенциально могут быть элементами СГЭ, целесообразно хранить в базе данных. Для этих целей можно использовать практически

любую из известных систем управления базами данных. Именно при помощи СУБД решается первая задача.

Для решения второй задачи необходимо дополнительное программное обеспечение позволяющее:

1. Преобразовать информацию, расположенную в базе данных к виду, необходимому для решения задачи синтеза (задачи бинарного целочисленного программирования);
2. Решать задачу бинарного целочисленного программирования;
3. Формировать выходные данные и отчеты.

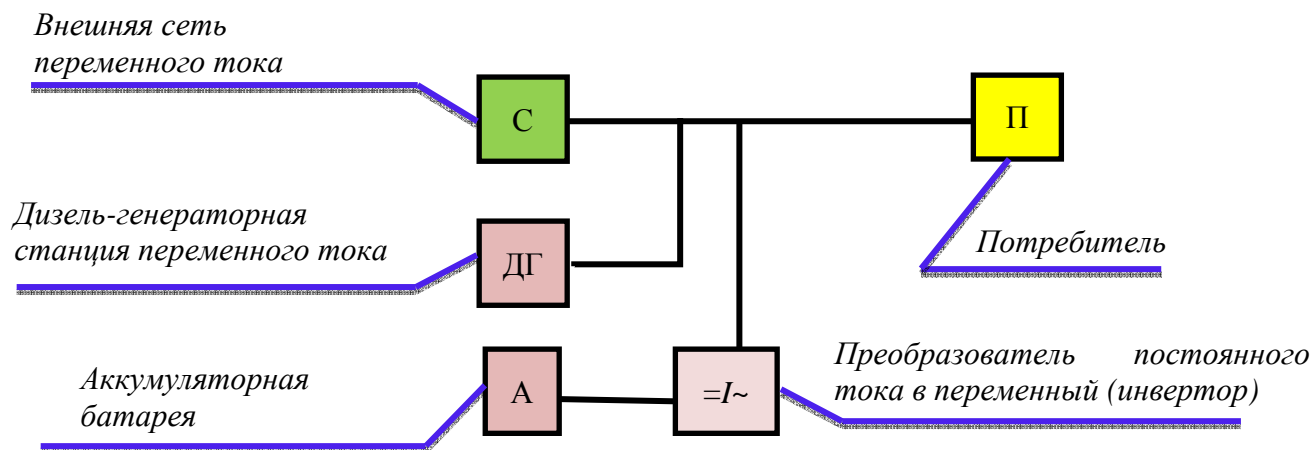
#### Алгоритм и методика решения задачи

Рассмотрим пример выбора оборудования СГЭ, состоящей из:

- одного устройства переменного тока (дизель-генератор);
- одного устройства постоянного тока (аккумуляторная батарея);
- одного преобразователя постоянного тока в переменный.

Далее, для решения задачи подбора оборудования (формирование БД устройств), будет использоваться условная номенклатура устройств с относительными ценовыми и массогабаритными показателями.

Синтез структуры, состоящей из перечисленных элементов, рассмотрен в [1]. Структурная схема СГЭ имеет вид, представленный на рисунке 1.



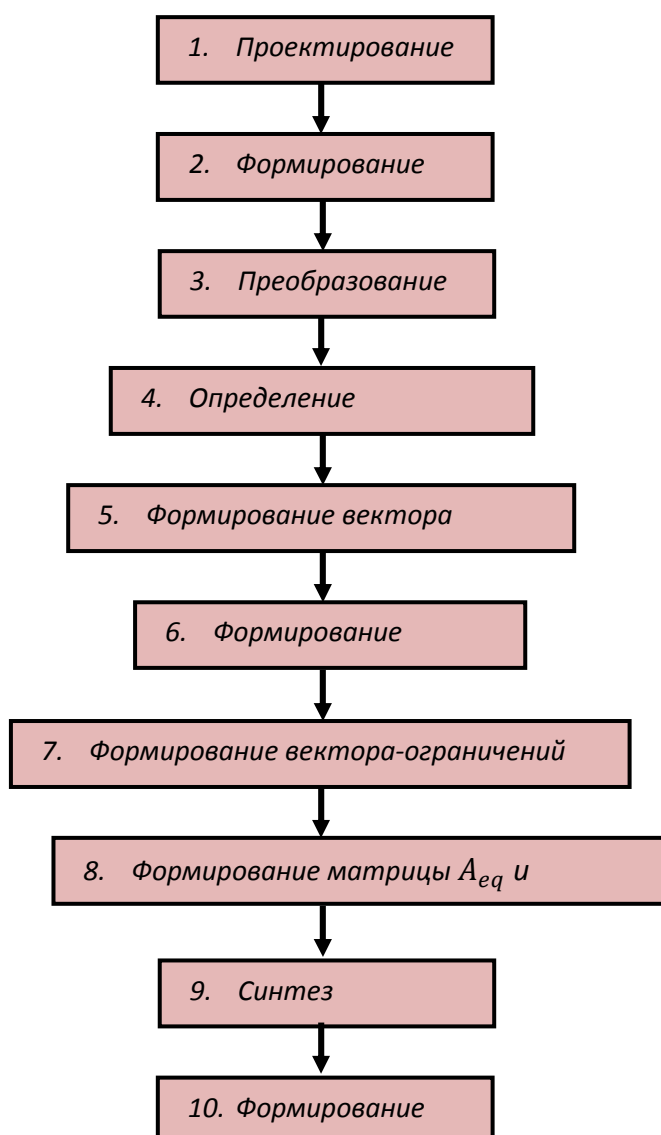
**Рис. 1.** Вариант схемного построения СГЭ с использованием резервных источников частотной госсети

Необходимо подобрать устройства (дизель-генераторную станцию, аккумуляторную батарею, преобразователь) для системы, обладающие наименьшей стоимостью при заданных ограничениях на массогабаритные показатели.

Алгоритм решения общей постановки задачи представлен на рисунке 2.

Проектирование БД включает создание трех таблиц (количество элементов в структуре, представленной на рисунке 1, для которых выбираем оборудование): «Дизельная Электростанция», «Аккумулятор», «Преобразователь», в каждой из которых предполагается хранить информацию о стоимостных, массогабаритных, показателях, т.е. каждая таблица, рассматриваемого примера, должна содержать три колонки:

- Стоимость,  $f$ ,
- Масса,  $m$ ,
- Объем,  $v$ .



**Рис. 2.**Общий алгоритм решения задачи оптимизации подбора оборудования СГЭ

ER–диаграммы соответствующих структур баз данных представлены на рисунке 3.

ДизельнаяЭлектростанция		Аккумулятор		Преобразователь	
○ ИД	Целый	○ ИД	Целый	○ ИД	Целый
○ Наименование	Строка	○ Наименование	Строка	○ Наименование	Строка
○ Стоимость	Действительный	○ Стоимость	Действительный	○ Стоимость	Действительный
○ Масса	Действительный	○ Масса	Действительный	○ Масса	Действительный
○ Объем	Действительный	○ Объем	Действительный	○ Объем	Действительный

**Рис. 3.**ER-диаграммы структур тестовых баз данных

Формирование БД заключается в заполнении строк таблиц актуальной информацией об оборудовании.

Преобразование БД к виду, требуемому для решения задачи бинарного целочисленного линейного программирования, заключается в транспонировании соответствующих таблиц, при котором первая строка таблицы из базы данных становится первым столбцом соответствующей матрицы  $T_i$ , предназначена для решения задачи оптимизации. Соответствие тестовых таблиц БД исходным матрицам для решения задачи оптимизации представлено на рисунке 4.

Таблица «Дизельная Электростанция»

ИД	Наименование	Стоимость	Масса	Объем
1	Дизельная электростанция типа 1	100	2	67
2	Дизельная электростанция типа 2	101	2,1	65
3	Дизельная электростанция типа 3	99	1,95	66
4	Дизельная электростанция типа 4	102	2	64

$$\rightarrow T_1 = \begin{bmatrix} 100 & 101 & 99 & 102 \\ 2 & 2,1 & 1,95 & 2 \\ 67 & 65 & 66 & 64 \end{bmatrix}$$

Таблица «Аккумулятор»

ИД	Наименование	Стоимость	Масса	Объем
1	Аккумулятор типа 1	50	0,34	1
2	Аккумулятор типа 2	53	0,44	1,1
3	Аккумулятор типа 3	49	0,3	0,9

$$\rightarrow T_2 = \begin{bmatrix} 50 & 53 & 49 \\ 0,34 & 0,44 & 0,3 \\ 1 & 1,1 & 0,9 \end{bmatrix}$$

Таблица «Преобразователь»

ИД	Наименование	Стоимость	Масса	Объем
1	Преобразователь типа 1	2	2	25
2	Преобразователь типа 2	3	2,1	26
3	Преобразователь типа 3	1,9	1,95	24
4	Преобразователь типа 4	4	2	25
5	Преобразователь типа 5	2,5	3	24

$$\rightarrow T_3 = \begin{bmatrix} 2 & 3 & 1,9 & 4 & 2,5 \\ 2 & 2,1 & 1,95 & 2 & 3 \\ 25 & 26 & 24 & 25 & 24 \end{bmatrix}$$

**Рис. 4.**Соответствие тестовых таблиц БД исходным матрицам для решения задачи оптимизации

Определение размерностей заключается в вычислении значений  $l_1, l_2, l_3$  в каждой из таблиц  $T_i$ , а также общего количества элементов

$$l = \sum_{i=1}^3 l_i, \quad (4)$$

Где  $l_i$  – количество столбцов  $T_i$ .

Для тестовых таблиц указанные значения равны:

$$l_1 = 4; l_2 = 3; l_3 = 5; l = 12.$$

Формирование вектора параметров линейной целевой функции  $f$  сводится к формированию вектора вида

$$f = [f_1, f_2, f_3], \quad (5)$$

где  $f_i$  – первые строки матриц  $T_i$ .

Составляющие вектора  $f$  в условиях нашей задачи представляют собой стоимостные показатели каждого из элементов множества всех устройств СГЭ. Для тестовых таблиц указанные значения равны:

$$f_1 = [100 \ 101 \ 99 \ 102], \quad f_2 = [50 \ 53 \ 49], \quad f_3 = [2 \ 3 \ 1.9 \ 4 \ 2.5], \\ f = [100 \ 101 \ 99 \ 102 \ 50 \ 53 \ 49 \ 2 \ 3 \ 1.9 \ 4 \ 2.5].$$

Матрица  $A$ , состоящая из коэффициентов линейных ограничений-неравенств, имеет вид

$$A = \begin{bmatrix} m_1 & m_2 & m_3 \\ v_1 & v_2 & v_3 \end{bmatrix}, \quad (6)$$

где  $m_i$  – вторые строки матриц  $T_i$ ,

$v_i$  – третьи строки матриц  $T_i$ .

Для тестовых таблиц указанные значения равны:

$$m_1 = [2 \ 2.1 \ 1.95 \ 1], \quad m_2 = [0.34 \ 0.44 \ 0.3], \quad m_3 = [2 \ 2.1 \ 1.95 \ 2 \ 3], \\ v_1 = [67 \ 65 \ 66 \ 64], \quad v_2 = [1 \ 1.1 \ 0.9], \quad v_3 = [25 \ 26 \ 24 \ 25 \ 24].$$

Формирование вектора-ограничений неравенств  $b$  производится в интерактивном режиме с учетом требований предъявляемых к СГЭ. Вектор  $b$  имеет вид

$$b = [MV], \quad (7)$$

Где  $M$  – ограничение по массе;

$V$  – ограничение по объему.

Для исходных таблиц тестовое значение вектора  $b$  равно:

$$b = [5 \ 100].$$

Ограничения-равенства (матрица  $A_{eq}$  и вектор  $b_{eq}$ ) в нашем случае необходимы для обеспечения в решении одновременного присутствия устройств из всех 3-х групп (структурные ограничения). В матрично-векторной форме они имеют вид

$$A_{eq} = \begin{bmatrix} \overbrace{1 \dots 1}^{l_1} & \overbrace{0 \dots 0}^{l_2} & \overbrace{0 \dots 0}^{l_3} \\ 0 \dots 0 & 1 \dots 1 & 0 \dots 0 \\ 0 \dots 0 & 0 \dots 0 & 1 \dots 1 \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$b_{eq} = [1 \ 1 \ 1]. \quad (10)$$

Для исходных таблиц тестовое значение матрицы  $A_{eq}$  и вектора  $b_{eq}$  равно

$$A_{eq} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}, \quad b_{eq} = [1 \ 1 \ 1].$$

Решение задачи минимизации можно осуществить по известным алгоритмам при помощи практически любого процедурного языка программирования.

Далее считаем, что  $f, A, b, A_{eq}, b_{eq}$  предварительно сформированы языковыми средствами. Для решения нашей задачи, на примере языка программирования *Matlab*, необходимо осуществить вызов

$$x = \text{bintprog}(f, A, b, A_{eq}, b_{eq}). \quad (11)$$

В результате вызова функции *bintprog* -мерный вектор  $x$  будет содержать искомое значение. В случае некорректно сформулированных условий система выдаст сообщение о невозможности решения задачи.

Вызов функции *bintprog* для текстовых таблиц дал результат значения вектора

$$x = (\overbrace{(0, 0, \boxed{1})}^4, \overbrace{(0, 0, \boxed{1})}^3, \overbrace{(0, 0, \boxed{1})}^5, 0, 0). \quad (12)$$

Таким образом, интерпретацией вектора  $x$ , является выбор 3-х устройств в таблицах базы данных (см. рисунок 5).

ИД	Наименование	Стоимость	Масса	Объем
1	Дизельная электростанция типа 1	100	2	67
2	Дизельная электростанция типа 2	101	2,1	65
3	Дизельная электростанция типа 3	99	1,95	66
4	Дизельная электростанция типа 4	102	2	64

Таблица «Аккумулятор»

ИД	Наименование	Стоимость	Масса	Объем
1	Аккумулятор типа 1	50	0,34	1
2	Аккумулятор типа 2	53	0,44	1,1
3	Аккумулятор типа 3	49	0,3	0,9

Таблица «Преобразователь»

ИД	Наименование	Стоимость	Масса	Объем
1	Преобразователь типа 1	2	2	25
2	Преобразователь типа 2	3	2,1	26
3	Преобразователь типа 3	1,9	1,95	24
4	Преобразователь типа 4	4	2	25
5	Преобразователь типа 5	2,5	3	24

**Рис. 5.** Выбор устройств в базе данных

Формирование отчета можно проводить также при помощи средств языка программирования *Matlab*, который имеет все необходимые для этого возможности. Важной особенностью системы *Matlab* является возможность компиляции программ в исполняемый файл или динамическую библиотеку, которые впоследствии можно использовать для создания более сложных модульных программных систем.

Изложенная методика реализована при использовании СУБД MSAccess. При использовании среды *Matlab* было создано демонстрационное программное обеспечение, позволяющее на основе хранящихся в БД данных выбрать оптимальным образом оборудование для СГЭ, состоящую из одного устройства переменного тока, одного устройства постоянного тока и одного преобразователя постоянного тока.

Помимо и массогабаритных показателей методика позволяет вводить дополнительные критерии (например, надежность), накладывать дополнительные ограничения на количество элементов и состав структуры СГЭ, а также производить выбор критерия для целевой функции (достигается при помощи замены соответствующих строк матриц  $T_i$ ).

### Список литературы

1. Атрощенко В.А., Кабанков Ю.А., Дьяченко Р.А., Лоба И.С. К вопросу построения аналитической модели межрегиональных распределительных сетей для оптимизации электрических потерь // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 6. URL: [www.science-education.ru/106-7219](http://www.science-education.ru/106-7219) (дата обращения: 08.10.2014).
2. Атрощенко В.А., Усатиков С.В., Дьяченко Р.А., Тишковский Д.В. Оптимальное решение нелинейных задач бинарного программирования для распределённой базы данных с постоянными временными характеристиками // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 1. URL: [www.science-education.ru/107-8565](http://www.science-education.ru/107-8565) (дата обращения: 08.10.2014).



3. Дьяченко Р.А. К вопросу построения информационной системы подбора оптимальных характеристик искусственных нейронных сетей для задач прогнозирования в электроэнергетике // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 2. URL: [www.science-education.ru/108-8580](http://www.science-education.ru/108-8580) (дата обращения: 08.10.2014).
4. Преобразователи электрической энергии систем автономного электроснабжения / В.А. Атрощенко, Э.Н. Гречко, Э.Н. Леухин, Н.А. Суртаев. – Краснодар: КВВКИУ МО, 1991. – 169 с.
5. Системы электроснабжения переменного тока с полупроводниковыми преобразователями / В.А. Атрощенко, Э.Н. Гречко, Ю.В. Кулешов. – Краснодар: Fler-1, 1997. – 201 с.
6. Целочисленное программирование и потоки в сетях/ Т.Ху.– М.:МИР, 1974. – 520 с.

**Рецензенты:**

Пиотровский Д.Л., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой Автоматизации производственных процессов ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный технологический университет», г. Краснодар;

Степанов В.В., д.т.н., профессор кафедры Информатики и вычислительной техники ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный технологический университет», г. Краснодар.