

УДК 621.316.1.05

UDC 621.316.1.05

05.00.00 Технические науки

Technical science

**К ВОПРОСУ НАХОЖДЕНИЯ  
ОПТИМАЛЬНЫХ ПОТЕРЬ МОЩНОСТИ В  
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СЕТЯХ НА  
ОСНОВЕ РЕШЕНИЯ ТРАНСПОРТНОЙ  
ЗАДАЧИ МЕТОДОМ ПОТЕНЦИАЛОВ**

**TO THE QUESTION OF FINDING THE  
OPTIMAL POWER LOSS ELECTRIC POWER  
NETWORKS BASED UPON SOLUTIONS OF  
TRANSPORT PROBLEMS BY THE  
POTENTIAL METHOD**

Лаптев Владимир Николаевич  
к.т.н, доцент

Laptev Vladimir Nikolaevich  
Cand.Tech.Sci., Associate Professor

Степанов Владимир Васильевич  
д.т.н., профессор

Stepanov Vladimir Vasilievich  
Doctor of engineering sciences, professor

Атрощенко Валерий Александрович  
д.т.н., профессор

Atroschenko Valery Aleksandrovich  
Doctor of engineering sciences, professor

Кабанков Юрий Андреевич  
к.т.н, профессор

Kabankov Yuri Andreevich  
Cand.Tech.Sci., Professor

Степанова Марина Валерьевна  
преподаватель  
[vvs04367@mail.ru](mailto:vvs04367@mail.ru)  
*Кубанский государственный аграрный  
университет, г. Краснодар  
Кубанский государственный технологический  
университет, Россия г. Краснодар, ул. Красная  
135, к.123  
Краснодарское высшее военное авиационное  
училище им. А.К. Серова, г. Краснодар*

Stepanova Marina Valerievna  
lecturer  
[vvs04367@mail.ru](mailto:vvs04367@mail.ru)  
*Kuban State Agrarian University, Krasnodar  
Kuban State Technological University, Krasnodar,  
Russia, Krasnodar  
Krasnodar Higher Military Aviation School named  
after A.K. Serov, Krasnodar, Russia*

Работа носит научный и практический характер, так как рассматриваемый в ней процесс оптимизации потерь мощности в электроэнергетических сетях основан на использовании транспортной задачи, а именно правила минимального элемента транспортной матрицы, с помощью которой находится допустимое решение. Механизм улучшения полученного допустимого решения поставленной задачи ориентирован на использование метода потенциалов, присваивая каждой строке и столбцу матрицы соответствующий потенциал. Используя базисную переменную и манипулируя элементами транспортной матрицы по определённому алгоритму, осуществляем построение нового

The work is scientific and practical in nature, same as the discussed process of optimization of power losses in power networks based on the use of the transportation problem, namely the rules of the minimum element of the transport matrix, which is a valid solution. The mechanism of the improvement of the obtained feasible solutions to the tasks focuses on using the potential method, assigning each row and column of the matrix their corresponding potential. Using a basic variable and manipulating the elements of the transport matrix according to a specific algorithm, we implement the construction of a new support plan. Based on the plan and its acyclic, we build two cycles and determine the values of the estimates between direct and indirect transportation

<http://ej.kubagro.ru/2016/06/pdf/59.pdf>

опорного плана. На основе представленного плана и его ацикличности, производится построение двух циклов и определяются значения оценок между прямыми и косвенными затратами на транспортировку единицы мощности. Полученный алгоритм позволяет легко запрограммировать все вычислительные операции и быстро получить результат оптимизации потерь мощности в проектируемой электроэнергетической сети, что обеспечивает снижение экономических и технологических затрат. В результате совместного использования транспортной задачи и метода потенциалов удается более эффективно найти оптимальное решение, на основе улучшенного решения, и получить схему оптимальной электрической сети. В качестве потребителей электроэнергии на практике могут выступать городские и сельскохозяйственные, промышленные предприятия, краевого, так и районного подчинения, включая промышленных, сельскохозяйственных и индивидуальных потребителей

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** МЕТОД ПОТЕНЦИАЛОВ, МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ, ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ, ИСТОЧНИКИ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ, МОЩНОСТЬ, ПРОЕКТИРУЕМЫЕ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ, ПРЯМЫЕ И КОСВЕННЫЕ ЗАТРАТЫ, УДЕЛЬНЫЕ ЗАТРАТЫ

costs per unit of output. The resulting algorithm makes it easy to program all computational operations and quickly obtain the result of the optimization of power losses in the design of the electricity network, thereby reducing the economic and technological costs. As a result of joint use of transportation problems and potential method, we could find the optimal solution based on improved solutions more efficiently, and a scheme of optimal electric network. As consumers, in practice, there may be urban and agricultural, industrial enterprises, regional and district subordination, including industrial, agricultural and individual customers

**Keywords:** METHOD OF POTENTIALS, MATHEMATICAL MODEL, ENERGY SOURCES, SOURCES OF CONSUMERS, POWER OF THE DESIGNED POWER LINES, DIRECT AND INDIRECT COSTS, UNIT COSTS

В настоящее время все больше и больше ужесточаются требования к внедрению энергосберегающих технологий практически во всех областях производства и распределительных сетей электроэнергии. Возникающий дефицит мощностей, связанный с потерями электроэнергии, рост цен на услуги ее транспортировки вызывают необходимость поиска экономии как за счет снижения потерь мощностей, так и за счет эффективного ее распределения.

Одним из перспективных направлений в области оптимизации в электроэнергетических сетях являются пути усовершенствования систем

эксплуатации и оптимизации схем распределительных сетей, в основу которого положены задача линейного программирования и ее модификации – такие как транспортная задача.

Известно, что транспортная задача – это задача, связанная с нахождением таких путей доставки готового продукта от пунктов производства к пунктам потребления, при которых общая стоимость транспортировки будет оптимальной. Несомненно, что такая математическая модель этой задачи может быть использована и в электроэнергетике, где под продуктом следует понимать электрическую мощность, передаваемую от источников энергии к потребителям по линиям электропередач.

В качестве потребителей электроэнергии выступают как городские, так и сельскохозяйственные, промышленные предприятия как краевого, так и районного подчинения, включая промышленных, сельскохозяйственных и индивидуальных потребителей.

В общем случае оптимизации подлежат затраты на формирование (проектирование) схемы электрической сети [1, 2, 3], которая состоит из линий электропередачи, связывающей узлы источников электроэнергии и узлы ее потребителей.

В настоящее время на базе использования математической модели транспортной задачи решено достаточно много задач электроэнергетики как в части оптимизации схем электроэнергетической сети, так и в части нахождения оптимального пути ее транспортировки, а также в области

проектирования возможного варианта расположения узлов и варианта сооружения линий электропередач.

Основополагающим фактором в этих задачах являлось введение удельных затрат на транспортировку мощностей по линиям между узлами источников и потребителей, которые подлежат оптимизации и представление этой задачи в виде матрицы.

В работе [3] проведен полный расчет проектируемой электрической сети межрегиональной сетевой компании с использованием транспортной задачи и представлена матрица, рассчитанная по определенному алгоритму. Полученное решение является допустимым, а найденные в результате расчетов свободные переменные:  $X_{14} = 0$ ,  $X_{15} = 0$ ,  $X_{21} = 0$ ,  $X_{22} = 0$ ,  $X_{32} = 0$ ,  $X_{33} = 0$ ,  $X_{34} = 0$  позволили значительно упростить электрическую сеть компании, найти оптимальные пути транспортировки электроэнергии, существенно уменьшить потребление дорогостоящего проводника (рисунок 1).

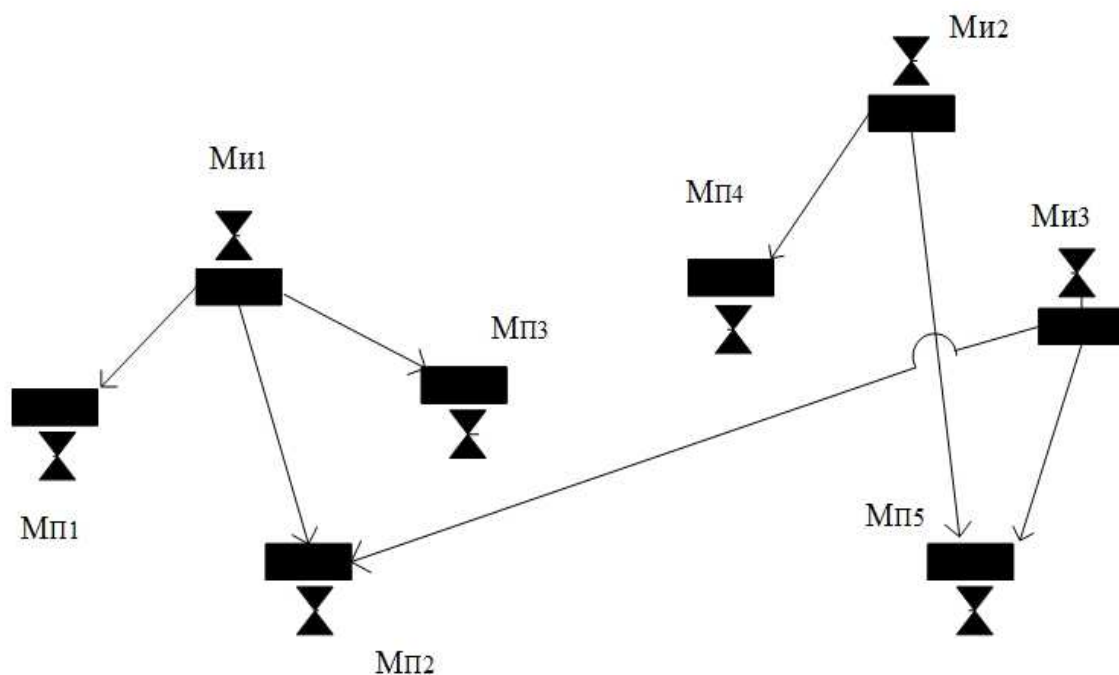


Рисунок 1 - Схема электрической сети, отвечающая допустимому решению

Последнее явилось исходным материалом для решения поставленной в этой работе задачи оптимизации потери мощностей в сети электропередачи на базе использования метода потенциалов (метод улучшения допустимого решения).

С целью более детального рассмотрения метода потенциалов сформулируем поставленную задачу следующим образом, применительно к полученному допустимому решению.

Из трех источников электроэнергии, с соответствующей мощностью  $M_{Mi}$  (где  $i=\overline{1,3}$ ), необходимо эффективно транспортировать электро-

энергию, снижая потери между узлами источников энергии и узлами потребителей  $M_{Ij}$  (где  $j=\overline{1,5}$ ).

Составим математическую модель, вводя, как и ранее, удельные стоимости транспортировки электроэнергии от источников к потребителям, обозначив их через  $Z_{ij}$  в виде матрицы  $\{Z_{ij}\}$ .

Запишем математическую модель задачи:

$$\begin{array}{ll}
 M_{I1} = 55 & M_{II1} = 15 \\
 M_{I2} = 35 & M_{II2} = 20 \\
 M_{I3} = 20 & M_{II3} = 30 \\
 & M_{II4} = 20 \\
 & M_{II5} = 25
 \end{array}$$

$$Z_{ij} = \begin{pmatrix} 1,1 & 1,5 & 1,3 & 1,7 & 1,8 \\ 1,8 & 2,2 & 2,3 & 2,0 & 2,1 \\ 1,7 & 2,1 & 2,5 & 2,1 & 2,3 \end{pmatrix}$$

Составим опорный план по правилу минимального элемента, и запишем в виде матрицы (таблица 1).

Таблица 1

<i>Источники энергии</i>	<i>Потребители энергии</i>					<i>Мощность источника</i>
	$M_{П1}$	$M_{П2}$	$M_{П3}$	$M_{П4}$	$M_{П5}$	
$M_{И1}$	1,1 0	1,5 0	1,3 0	1,7 0	1,8 0	55
$M_{И2}$	1,8 0	2,2 0	2,3 0	2,0 0	2,1 0	35
$M_{И3}$	1,7 0	2,1 0	2,5 0	2,1 0	2,3 10	20
<i>Мощность потребителей</i>	15	20	30	20	25	110

Обозначим излишек нераспределенной мощности от поставщика  $M_{Иi}^*$ , и недостаток в поставке мощности потребителю через  $M_{Пj}^*$ .

Находим первую строку и первый столбец таблицы 1 с минимальной удельной стоимостью на транспортировку единицы мощности – в нашем случае она равна 1,1. Помещаем в эту клетку вместо нуля меньшую из величин  $M_{И1}^*=55$ ,  $M_{П1}^*=15$ . В результате в первом столбце установился баланс мощностей, но в первой строке данной таблицы баланс не установлен.

Поступаем аналогично, находим следующую клетку с минимальной удельной стоимостью транспортировки по этой же строке – в нашем

случае она равна 1,3 и помещаем в нее меньшее из чисел  $M_{II}^*=40$  (излишек),  $M_{III}^*=30$ .

Повторяем перечисленные выше операции для первой строки второго столбца в рабочей матрице, внося меньшую из величин  $M_{II2}^*=20$  и  $M_{III}^*=10$  (остаток).

В результате проведенных манипуляций установится баланс мощностей по первой строке и первому столбцу транспортной матрицы таблицы 1, а в оставшиеся клетки первой строки и столбца вносим нулевые значения.

Для оставшихся клеток матрицы повторяем аналогичную процедуру, начиная со второй строки и второго столбца, находим клетку –  $Z_{14}=2,0$ , вносим меньшее из значений  $M_{II4}^*=20$  и  $M_{II2}^*=35$ .

Повторяя операцию, находим клетку с минимальным значением  $Z_{25}=2,1$  и вносим в нее меньшее из  $M_{II2}^*=15$  и  $M_{II5}^*=20$ .

В результате установлен баланс по всем строкам и столбцам транспортной матрицы.



Таблица 2

<i>Источники энергии</i>	<i>Потребители энергии</i>					<i>Мощность источника</i>
	<i>M<sub>П1</sub></i>	<i>M<sub>П2</sub></i>	<i>M<sub>П3</sub></i>	<i>M<sub>П4</sub></i>	<i>M<sub>П5</sub></i>	
<i>M<sub>И1</sub></i>	1,1 15	1,5 10	1,3 30	1,7 0	1,8 0	55
<i>M<sub>И2</sub></i>	1,8 0	2,2 0	2,3 0	2,0 20	2,1 15	35
<i>M<sub>И3</sub></i>	1,7 0	2,1 10	2,5 0	2,1 0	2,3 10	20
<i>Мощность потребителей</i>	15	20	30	20	25	110

Транспортные расходы при транспортировке электрической энергии от источников к потребителям, согласно таблице 2, составят:

$$Z=Z_{11}X_{11}+Z_{12}X_{12}+Z_{13}X_{13}+Z_{24}X_{24}+Z_{25}X_{25}+Z_{32}X_{32}+Z_{35}X_{35}=$$

$$=15*1,1+10*1,5+30*1,3+20*2,0+15*2,1+10*2,1+10*2,3=186$$

Как видно из приведенного выше алгоритма, метод нахождения допустимого решения достаточно трудоемок, поскольку нахождения его для соответствующей свободной переменной необходимо строить цикл, и каждый раз определять изменение целевой функции.

С целью улучшения полученного допустимого решения воспользуемся методом потенциалов, учитывая, что загруженных клеток семь, а свободных неизвестных восемь, приходим к выводу, что план является нециклическим (ациклический).

Введем для этого в рассматриваемую матрицу таблицы 2 каждой строке  $-U_i$  и столбцам  $-V_j$ , соответствующие потенциалы  $U_i$  и  $V_j$ , связанные с базисной переменной  $Z_{ij}$  соотношением:

$$Z_{ij} = U_i + V_j \quad (1.1)$$

где  $i = \overline{1, m}$ ;

$$j = \overline{1, n}$$

$Z_{ij}$  - удельные затраты на транспортировку единицы мощности по линиям, между узлами источников и потребителей.

Полагая, что  $U_1 = 0$  определим остальные значения потенциалов по строкам и столбцам –  $U_2, U_3, V_1, V_2, V_3, V_4, V_5$ , используя соотношение (1.1), учитывая, что нам известны  $U_1 = 0$ , а  $Z_{ij}$  в занятых клетках матрицы тоже известны.

Получим:

$$U_1 = 0$$

$$V_1 = Z_{11} - U_1 = 1,1 - 0 = 1,1$$

$$V_2 = Z_{12} - U_1 = 1,5 - 0 = 1,5$$

$$V_3 = Z_{13} - U_1 = 1,3 - 0 = 1,3$$

$$U_2 = Z_{25} - V_5 = 2,1 - 1,7 = 0,4$$

$$U_3 = Z_{32} - V_2 = 2,1 - 1,5 = 0,6$$

$$V_5 = Z_{35} - U_3 = 2,3 - 0,6 = 1,7$$

$$V_4 = Z_{24} - U_2 = 2,0 - 0,4 = 1,6$$

Определим значения оценок, то есть разницу между прямыми и косвенными удельными затратами на транспортировку единицы мощности идущего от источника к потребителям, обозначив их соответственно  $\overline{Z_{ij}}$ , для свободных клеток матрицы (таблица 2):

$$\overline{Z_{14}} = Z_{14} - (U_1 + V_4) = 1,7 - (0 + 1,6) = 0,1;$$

$$\overline{Z_{15}} = Z_{15} - (U_1 + V_5) = 1,8 - (0 + 1,7) = 0,1;$$

$$\overline{Z_{21}} = Z_{21} - (U_2 + V_1) = 1,8 - (0,4 + 1,1) = 0,3;$$

$$\overline{Z_{22}} = Z_{22} - (U_2 + V_2) = 2,2 - (0,4 + 1,5) = 0,3;$$

$$\overline{Z_{23}} = Z_{23} - (U_2 + V_3) = 2,3 - (0,4 + 1,3) = 0,6$$

$$\overline{Z_{31}} = Z_{31} - (U_3 + V_1) = 1,7 - (0,6 + 1,1) = 0$$

$$\overline{Z_{33}} = Z_{33} - (U_3 + V_3) = 2,5 - (0,6 + 1,3) = 0,6$$

$$\overline{Z_{34}} = Z_{34} - (U_3 + V_4) = 2,1 - (0,6 + 1,6) = -0,1.$$

Как видно из полученных расчетов имеет место клетка таблицы с отрицательной оценкой, а именно третья строка и четвертый столбец –  $Z_{34} = 2,1$ . Строим для нее цикл на основе минимального значения  $Z_{ij}$

Таблица 3

		$V_1$	$V_2$	$V_3$	$V_4$	$V_5$	
	<i>Источники энергии</i>	<i>Потребители энергии</i>					<i>Мощность источника</i>
		$M_{П1}$	$M_{П2}$	$M_{П3}$	$M_{П4}$	$M_{П5}$	
$U_1$	$M_{П1}$	1,1 15	1,5 10	1,3 30	1,7 0	1,8 0	55
$U_2$	$M_{П2}$	1,8 0	2,2 0	2,3 0	2,0 10	2,1 25	35
$U_3$	$M_{П3}$	1,7 0	2,1 10	2,5 0	2,1 10	2,3 0	20
	<i>Мощность потребителей</i>	15	20	30	20	25	110

Найдем функцию цели:

$$Z = Z_{11}X_{11} + Z_{12}X_{12} + Z_{13}X_{13} + Z_{24}X_{24} + Z_{25}X_{25} + Z_{32}X_{32} + Z_{34}X_{34} =$$

$$= 15 * 1,1 + 10 * 1,5 + 30 * 1,3 + 10 * 2,0 + 25 * 2,1 + 10 * 2,1 + 10 * 2,1 = 186$$

Выбираем опять клетку таблицы с наименьшей оценкой и строим для нее цикл, перемещая мощность в 10 удельных единиц, прибавляя там, где стоит знак «+» и вычитаем там, где стоит знак «-».

В результате перемещений по построенному циклу получаем новый план:

Проверим полученный план на оптимальность. Для этого подсчитаем потенциалы для клеток таблицы, содержащих свободные переменные:

$$U_1=0$$

$$Z_{14} = U_1 + V_4; V_4 = 1,7 - U_1 = 1,7$$

$$Z_{15} = U_1 + V_5; V_5 = 1,8 - U_1 = 1,8$$

$$Z_{21} = U_2 + V_1; V_1 = 1,8 - U_2 = 1,5$$

$$Z_{22} = U_2 + V_2; V_2 = 2,2 - U_2 = 0,4$$

$$Z_{23} = U_2 + V_3; U_2 = 2,3 - V_3 = 0,3$$

$$Z_{31} = U_3 + V_1; V_1 = 1,7 - U_3 = 1,2$$

$$Z_{33} = U_3 + V_3; V_3 = 2,5 - U_3 = 2,0$$

$$Z_{35} = U_3 + V_5; U_3 = 2,3 - V_5 = 0,5$$

Определяем значение оценок для всех свободных клеток матрицы таблицы 4:

$$\overline{Z}_{14} = Z_{14} - (U_1 + V_4) = 1,7 - 1,7 = 0;$$

$$\overline{Z}_{15} = Z_{15} - (U_1 + V_5) = 1,8 - 1,8 = 0;$$

$$\overline{Z}_{21} = Z_{21} - (U_2 + V_1) = 1,7 - (0,3 + 2,1) = 0,2;$$

$$\overline{Z}_{22} = Z_{22} - (U_2 + V_2) = 2,2 - (0,3 + 0,4) = 1,5;$$

$$\overline{Z}_{23} = Z_{23} - (U_2 + V_3) = 2,3 - (0,3 + 2,0) = 0;$$

$$\bar{Z}_{31} = Z_{31} - (U_3 + V_1) = 1,7 - (0,3 + 1,5) = -0,1;$$

$$\bar{Z}_{33} = Z_{33} - (U_3 + V_3) = 2,5 - (0,5 + 2,0) = 0;$$

$$\bar{Z}_{35} = Z_{35} - (U_3 + V_5) = 2,3 - (0,5 + 1,5) = 0,3.$$

Как видно из полученных расчетов имеет место клетка таблицы с отрицательной оценкой, а именно третья строка и первый столбец –  $Z_{31} = 1,7$ , то есть план для нее не является оптимальным. Строим для нее цикл, перемещая по циклу мощность в 10 удельных единиц, прибавляя там, где стоит знак «+» и вычитаем там, где стоит знак «-».

В результате проведенных операций получаем новый опорный план (таблица 4).

На основе полученного нового плана найдем уже для него значение целевой функции:

$$\begin{aligned} Z &= Z_{11}X_{11} + Z_{12}X_{12} + Z_{13}X_{13} + Z_{24}X_{24} + Z_{25}X_{25} + Z_{31}X_{31} + Z_{35}X_{35} = \\ &= 5 * 1,1 + 20 * 1,5 + 30 * 1,3 + 10 * 2,0 + 25 * 2,1 + 10 * 1,7 + 10 * 2,1 = 185 \end{aligned}$$

Таблица 4

Источники энергии	Потребители энергии					Мощность источника
	$M_{П1}$	$M_{П2}$	$M_{П3}$	$M_{П4}$	$M_{П5}$	
$M_{П1}$	1,1 5	1,5 20	1,3 30	1,7 0	1,8 0	55
$M_{П2}$	1,8 0	2,2 0	2,3 0	2,0 10	2,1 25	35

$M_{из}$	1,7	2,1	2,5	2,1	2,3	
	10	0	0	10	0	20
Мощность потребителей	15	20	30	20	25	110

Мощность, передаваемая по проектируемым линиям электропередач, связывающая потребителей с источниками питания является искомой величиной и обозначается, как и ранее,  $X_{ij}$ .

Таким образом, можно сделать заключение, что в результате использования метода потенциалов удастся более эффективно определить оптимальное решение на основе улучшенного решения (таблица 4) и получить схему оптимальной электрической сети.

Учитывая условие (1.1) перевод любой другой переменной в базис приведет к увеличению  $Z_{ij}$ . Следовательно, полученное решение оптимально, а схема электрической сети, соответствующая этому решению, представлена на рисунке 2.

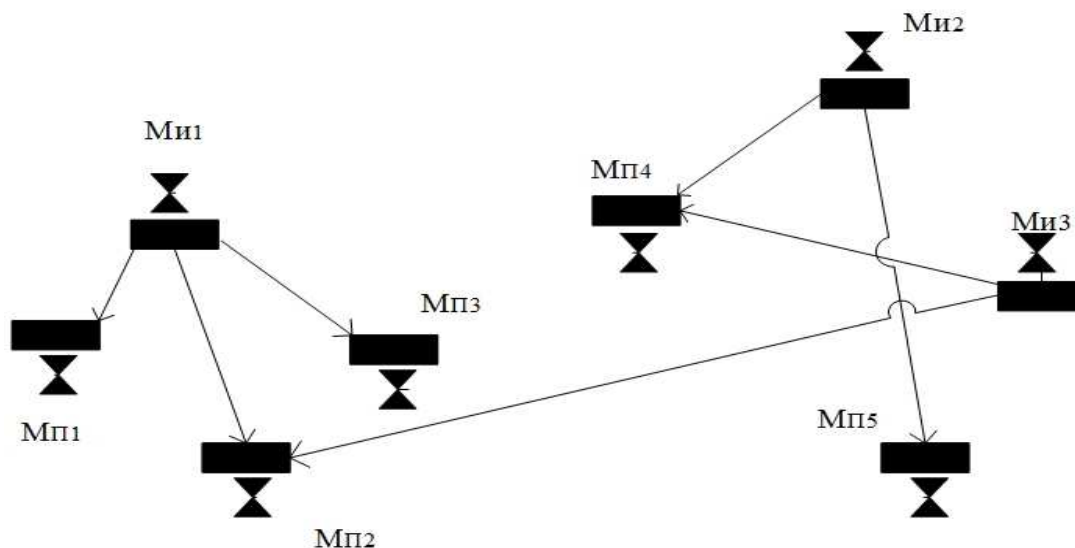


Рисунок 2 - Схема оптимальной электрической сети

Обсуждая полученный результат, можно сделать вывод, что решение задачи оптимизации потерь мощности в электроэнергетических сетях базируется на использовании транспортной задачи и представления транспортной матрицы размерности  $n*m$  (где  $n$  – количество источников питания, а  $m$  – количество потребителей). На основе представленной матрицы находятся допустимые решения по правилу минимального элемента удельной стоимости.

Следующим шагом на основе полученного допустимого решения, используя метод потенциалов (1.1) находим улучшенное допустимое решение, а затем проверяем его на оптимальность.

Полученный таким образом алгоритм позволяет легко запрограммировать все вычисленные операции и быстро получить



результат оптимизации потерь мощности в проектируемой электроэнергетической сети,

что обеспечивает снижение экономических и технологических затрат.

#### Список литературы:

1. Аввакумов В.Г. Постановка и решение электроэнергетических задач исследования операций. - Киев: Вища школа, 1983.

2. Костин В.Н. Оптимизационные задачи электроэнергетики Учебное пособие – СПб.: СЗ ГЗТУ. Издательско-полиграфическая ассоциация вузов Санкт-Петербурга, 2003.

3. Степанов В.В. Степанов. Оптимизация поставки электроэнергии на примере использования транспортной задачи. - / В.В. Степанов, М.В. Степанова, В.В. Степанов. Сборник научных статей XVII всероссийская научно-практическая конференция (заочная) «Инновационные технологии в образовательном процессе, Краснодар, 2015.

4. Степанов В.В. Применение транспортной задачи для оптимизации в межрегиональных сетевых компаниях передачи электроэнергии. - / В.В. Степанов, М.В. Степанова, Ю.А. Кабанков. «VI Международная научно-практическая конференция молодых ученых, посвященная 55-й годовщине полета Ю.А.Гагарина в космос», Краснодар, 2016.

5. Курицкий Б.Я. Поиск оптимальных решений средствами EXCEL 7.0.- СПб.: ВHV, 1997.

#### References

1. Avvakumov V.G. Postanovka i reshenie jelektrojenergeticheskikh zadach issledovanija operacij. - Kiev: Vishha shkola, 1983.

2. Kostin V.N. Optimizacionnye zadachi jelektrojenergetiki Uchebnoe posobie – SPb.: SZ GZTU. Izdatel'sko-poligraficheskaja asociacija vuzov Sankt-Peterburga, 2003.

3. Stepanov V.V. Stepanov. Optimizacija postavki jelektrojenergii na primere ispol'zovanija transportnoj zadachi. - / V.V. Stepanov, M.V. Stepanova, V.V. Stepanov. Sbornik nauchnyh statej XVII vserossijskaja nauchno-prakticheskaja konferencija (zaohnaja) «Innovacionnye tehnologii v obrazovatel'nom processe, Krasnodar, 2015.

4. Stepanov V.V. Primenenie transportnoj zadachi dlja optimizacii v mezhregional'nyh setevyh kompanijah peredachi jelektrojenergii. - / V.V. Stepanov, M.V. Stepanova, Ju.A. Kabankov. «VI Mezhdunarodnaja nauchno-prakticheskaja konferencija molodyh uchenyh, posvjashhennaja 55-j godovshhine poleta Ju.A.Gagarina v kosmos», Krasnodar, 2016.

5. Kurickij B. Ja. Poisk optimal'nyh reshenij sredstvami EXCEL 7.0.- SPb.: VNV, 1997.