

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ
БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ

«Л.Н. ГУМИЛЕВ АТЫНДАҒЫ ЕУРАЗИЯ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ»
КеАҚ



КӨЛІК-ЭНЕРГЕТИКА ФАКУЛЬТЕТІ



**«КӨЛІК ЖӘНЕ ЭНЕРГЕТИКАНЫҢ ӨЗЕКТІ МӘСЕЛЕЛЕРІ:
ИННОВАЦИЯЛЫҚ ШЕШУ ТӘСІЛДЕРІ» XIV ХАЛЫҚАРАЛЫҚ
ҒЫЛЫМИ-ТӘЖІРИБЕЛІК КОНФЕРЕНЦИЯСЫНЫҢ
БАЯНДАМАЛАР ЖИНАҒЫ**

**СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ
XIV МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ
КОНФЕРЕНЦИИ: «АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ТРАНСПОРТА И
ЭНЕРГЕТИКИ: ПУТИ ИХ ИННОВАЦИОННОГО РЕШЕНИЯ»**

**PROCEEDINGS OF THE XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC- PRACTICE
CONFERENCE «ACTUAL PROBLEMS OF TRANSPORT AND ENERGY:
THE WAYS OF ITS INNOVATIVE SOLUTIONS»**

Астана, 2026

УДК 656:620.9

ББК 65.37+65.305.1

A43

Редакционная коллегия:

Председатель – Талтенов А.А., член Правления – Проректор по науке и коммерциализации, д.х.н., профессор; Заместитель председателя – Кокаев У.Ш. декан транспортно-энергетического факультета, к.т.н., ассоциированный профессор; Тлепиева Г.М. – заместитель декана по научной работе, к.т.н., доцент; Султанов Т.Т. – заведующий кафедрой «Организация перевозок, движения и эксплуатация транспорта», к.т.н., доцент; Тогизбаева Б.Б. – заведующая кафедрой «Транспортная инженерия», д.т.н., профессор; Байхожаева Б.У. – заведующая кафедрой «Стандартизация, сертификация и метрология», д.т.н., профессор; Жумажанов С.К.– заведующий кафедрой «Электроэнергетика», к.т.н., доцент; Садыкова С.Б. – заведующая кафедрой «Теплоэнергетика», PhD, доцент.

A43 Актуальные проблемы транспорта и энергетики: пути их инновационного решения: XIV Международная научно-практическая конференция, 19 марта 2026г. / Подгот. А.А. Талтенов, У.Ш. Кокаев, Г.М. Тлепиева – Республика Казахстан, г.Астана, НАО «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева», 2026. – 632 с.

ISBN 978-601-385-216-4

В сборник включены материалы XIV Международной научно-практической конференции на тему: «Актуальные проблемы транспорта и энергетики: пути их инновационного решения», проходившей в г. Астана 19 марта 2026 года.

Тематика статей и докладов участников конференции посвящена актуальным вопросам логистики, организации перевозок, движения и эксплуатации транспорта, стандартизации, метрологии и сертификации, транспорту, транспортной техники и технологии, теплоэнергетики и электроэнергетики.

Материалы конференции дают отражение научной деятельности ведущих ученых дальнего и ближнего зарубежья, Республики Казахстан и могут быть полезными для докторантов, магистрантов и студентов.

ISBN 978-601-385-216-4

УДК 656:620.9
ББК 65.37+65.305.1

© НАО «ЕНУ имени Л.Н. Гумилева», 2026

**Секция 5 «ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ
В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ»**

Азмуханбетов Б.Т. ТҰРАҚТЫ ТОК ҚОЗҒАЛТҚЫШТАРЫН БАСҚАРУДАҒЫ ПИД-РЕТТЕГІШТЕРДІ ГЕНЕТИКАЛЫҚ АЛГОРИТМ ЖӘНЕ ФАЗЗИ-ЛОГИКА АРҚЫЛЫ ОҒТАЙЛАНДЫРУ	565
Айсанов А.Б. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ИЗОЛЯЦИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ НАПРЯЖЕНИЕМ 6-10 КВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ	569
Ашимов Д.Е. МЕТОДЫ АНАЛИЗА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИМПУЛЬСОВ ЧАСТИЧНЫХ РАЗРЯДОВ В КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЯХ И ИХ АДАПТАЦИЯ К УСЛОВИЯМ ЭКСПЛУАТАЦИИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН	575
Әлімқазы Ш., Нұржанова А.Б. ЭЛЕКТРОМАГНИТТІК ТОЛҚЫНДАР. ТЕОРИЯЛЫҚ ТАЛДАУ.	579
Багиров И.Я. ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ ГРАФОВ К РАСЧЕТАМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ	584
Гайнуллина Д.А. АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ НА КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ-НАПРЯЖЕНИЯ	590
Ғизат М.Н. АСТАНА ҚАЛАСЫНЫҢ ЖАҒДАЙЫНДА ОРТАЛЫҚ ЭЛЕКТР ЖЕЛІСІНЕ ҚОСЫЛМАЙТЫН ТІК ЖЕЛІ ТУРБИНАЛАРЫ НЕГІЗІНДЕГІ ЖЕРГІЛІКТІ ЭЛЕКТРОМОБИЛЬДЕРДІ ЗАРЯДТАУ СТАНЦИЯСЫН ЖОБАЛАУ	593
Зуев Д.Н. МЕТОДЫ КОМПЕНСАЦИИ НЕСТАБИЛЬНОСТИ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В ГЛОБАЛЬНОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЕ	596
Қайратов А.К. ИНТЕГРАЦИЯ МЕТОДОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ПРОЦЕСС ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ 0,4–35 кВ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ФОРМИРОВАНИЯ НОРМАТИВНО КОРРЕКТНОЙ ПРОЕКТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ	601
Қостанаев Ә.Д. 0,4 КВ ЖЕЛІЛЕРІНДЕГІ РЕАКТИВТІ ҚУАТТЫ КОМПЕНСАЦИЯЛАУ ЖҮЙЕСІН МОДЕЛЬДЕУ ЖӘНЕ ТАЛДАУ	605
Ниязов Б.Ш. СОЦИАЛЬНОЕ ВОСПРИЯТИЕ ПЕРЕХОДА К ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ В КАЗАХСТАНЕ	609
Сағиев Т.А. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВНЕДРЕНИЯ МОБИЛЬНЫХ НАКОПИТЕЛЕЙ НА БАЗЕ SSB	614
Сейткалиева М.С. АУЫСПАЛЫ ЖІЛІКТІ ЖАҒАРТЫЛАТЫН ЭНЕРГИЯ КӨЗДЕРІН ҚАЗАҚСТАННЫҢ ЭНЕРГЕТИКАЛЫҚ ЖҮЙЕСІНЕ БІРІКТІРУ	619
Социал Б.Қ. ЖОҒАРЫ ТОК ГАРМОНИКАСЫН БАСУ ҚҰРЫЛҒЫСЫ	622
Уаханова К.Б. ҚАЗАҚСТАН ЖАҒДАЙЫНДА КҮН-ЖЕЛІ ГИБРИДТІ ЭНЕРГЕТИКАЛЫҚ ЖҮЙЕЛЕРІН ҚОЛДАНУДЫҢ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ ЖӘНЕ ОЛАРДЫҢ ТИІМДІЛІГІН АРТТЫРУ ЖОЛДАРЫ	628

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ ГРАФОВ К РАСЧЕТАМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

Багиров Ильяс Яшар оглы

ilyasbagirov2006@gmail.com

Қаиргелді Ерасыл Саятулы

erasylkairgeldi@gmail.com

студенты бакалавриата кафедры «Электроэнергетика»

ЕНУ им. Л.Н.Гумилева, Астана, Казахстан.

Научный руководитель:

д.т.н., доцент кафедры «Электроэнергетика» Ахметбаев Даурен Садыкович

ahmetbaev46@mail.ru

Аннотация. В статье рассматривается применение теории графов применительно к задачам теоретической основы электротехники. Теория графов представляет интерес для электриков, радиостов, а также для тех, кто работает в области автоматики и телемеханики, кибернетики и в других областях техники и технологии. Первые направления развития теории графов связаны с применением матричной алгебры в задачах электротехники. Информация о графе может быть выражена в виде системы уравнений или в виде некоторого геометрического образа электрической схемы, на которой показаны только узлы и ветви (а иногда направление передачи). По мере усложнения схемы усложняется технология поиска и определения величин всех возможных деревьев графа. Предлагается новый подход к определению возможных деревьев сложного графа электрической цепи.

Ключевые слова: Электрическая цепь, граф, дерево, хорда, первая и вторая матрица инцидентий.

Введение

Теория графов – это учение об общих топологических свойствах графов и о методах их расчетов. Каждый граф характеризуется своей топологией, т. е. информацией о том, какими ветвями связаны друг с другом отдельные узлы графа и какова проводимость каждой ветви [1,2].

Теория графов развивался в двух направлениях. В первом направлении за основу информации о графе принимается информация, выраженная в виде системы уравнений. Во втором направлении за основу принимается информация о графе, выраженная в виде геометрического образа электрической схемы, на которой показаны только узлы и ветви. В первом направлении изучение свойств цепей производят путем использования общих свойств матриц и определителей. Во втором направлении изучение свойств цепей производят путем применения правил преобразования графов [3,4].

Исследования теории графов применительно к задачам электрических цепей были проведены в работах Кирхгофа и Максвелла, где были установлены основные определения- понятия дерева и хорды графа. Разложение определителя матрицы узлового уравнения по произвольному узлу привело к необходимости поиска и определения возможных деревьев графа сложной электрической цепи [5].

Способы поиска и определения возможных деревьев графа.

Из теории графов [4,5] известно, что по мере увеличения количества узлов число деревьев графа реальной электрической сети возрастает достаточно быстро. Поэтому необходимо разрабатывать более эффективные алгоритмы поиска всех возможных деревьев.

В [6,7] реализованы три способа отыскания возможных деревьев сложных электрических сетей. Суть всех этих методов заключается в переборе и исследовании подграфов на предмет того, что являются ли они деревьями или нет. При этом, в одном методе перебор осуществляется по ветвям, втором – по узлам, в третьем – по контурам.

Другой подход реализован в теории структурных чисел [7,8]. Недостатками этих методов является необходимость сохранения в памяти большого массива данных.

На самом деле, сами деревья не нужны, а нужны так называемые величины деревьев, представляющие с собой произведение весов ветвей, входящих в деревья. Поэтому нет необходимости запоминать эти деревья, достаточно запомнить лишь их веса.

Алгоритм поиска всех возможных деревьев графа с вычислением их величин.

Пусть m – число всех ветвей исходного графа. n – число узлов (вершин) графа.

Шаг 1. Осуществляем направленный перебор выборок $n - 1$ элементов из m элементов.

Шаг 2. Проверка окончания вариантов перебора: да – завершаем алгоритм, нет – продолжаем вычисление.

Шаг 3. Для очередной выборки осуществляем проверку на связность.

Проверка осуществляется так. Начиная с первого узла (вершины) начинаем движение по ветвям из выборки. Возможны три варианта: 1) либо нет новых путей с очередной вершины, 2) либо вернулись уже выбранную вершину (то есть образовался цикл), 3) либо выбраны все вершины. В двух первых случаях проверка прекращается – выборка ветвей не образует дерево.

Шаг 4. Вычисление величин деревьев. Пусть G_k - множество номеров ребер k -го дерева. Y_i - проводимость i -ой ветви, который выражается из заданного комплексного сопротивления i -ой ветви Z_i по формуле

$$Y_i = 1/Z_i.$$

Тогда вес (k -го) дерева вычисляется по формуле:

$$Q_k = \prod_{i \in G_k} Y_i \quad (1)$$

Результирующее значение всех возможных деревьев формируется как сумма весов отдельных деревьев графа. По данному алгоритму составлена программа, которая считывает исходные данные из внешнего файла и осуществляет предварительную проверку правильности исходных данных.

Новый алгоритм поиска и формирования возможных деревьев сложного графа.

В данной разрабатывается алгоритм поиска возможных деревьев сложного графа с использованием свойств теории множеств на основе первой и второй матрицы инцидентий. Причем, разрабатываются алгоритмы формирования исходных условий на основе двух множеств первой и второй матрицы инцидентий.

Программная реализация описанного выше математического аппарата выполнена в виде приложения для ЭВМ. Наглядная маршрутизация вычислительного процесса, включающая направленный комбинаторный перебор и работу фильтров связности, представлена на блок-схеме алгоритма (рис. 1).

Для верификации разработанного алгоритма проведем анализ трех тестовых схем различной степени сложности. Традиционный матричный расчет (через расчет определителя матрицы узловых проводимостей) будем использовать в качестве математического эталона для подтверждения точности машинных вычислений. Расчет определителей был проведен в программе «Mathcad». Топологический анализ и эталонный расчет для тестовой схемы №1 представлены ниже (рис. 2).

Результаты машинного расчета тестовой схемы №1 с помощью разработанного алгоритма представлены ниже (см. рис. 3).

Как видно из полученных данных (рис.3), алгоритм успешно сформировал 8 возможных деревьев графа. Фильтры связности узлов корректно отсекали нежизнеспособные комбинации (node filter). Итоговая сумма весов всех деревьев составила 0.525, что полностью совпадает с результатами эталонного матричного расчета. Машинное время выполнения комбинаторного перебора для данной схемы составило 0.1428 мс. Это подтверждает математическую корректность работы предложенного метода на графах базового уровня сложности.

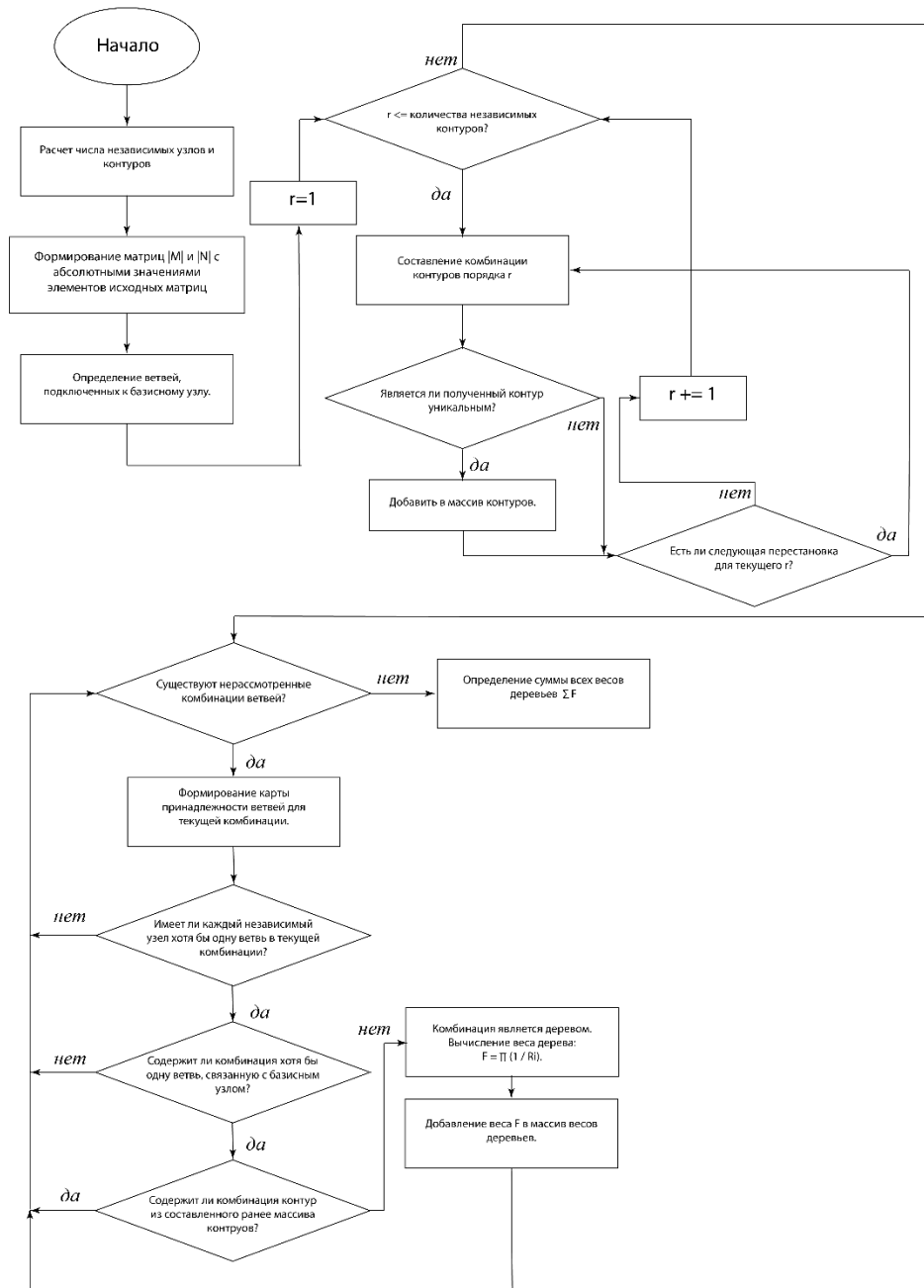
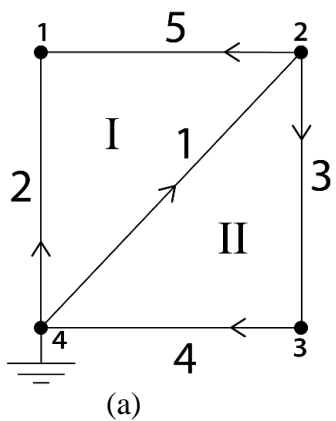


Рисунок 1 –Блок схема алгоритма



(a)

$$\begin{aligned}
 Y_{11} &:= \frac{1}{2} + \frac{1}{5} & Y_{12} &:= \frac{1}{5} & Y_{13} &:= 0 \\
 Y_{21} &:= \frac{1}{5} & Y_{22} &:= \frac{1}{3} + \frac{1}{5} + 1 & Y_{23} &:= \frac{1}{3} \\
 Y_{31} &:= 0 & Y_{32} &:= \frac{1}{3} & Y_{33} &:= \frac{1}{3} + \frac{1}{4} \\
 \det \begin{pmatrix} Y_{11} & -Y_{12} & -Y_{13} \\ -Y_{21} & Y_{22} & -Y_{23} \\ -Y_{31} & -Y_{32} & Y_{33} \end{pmatrix} &= 0.525
 \end{aligned}$$

(б)

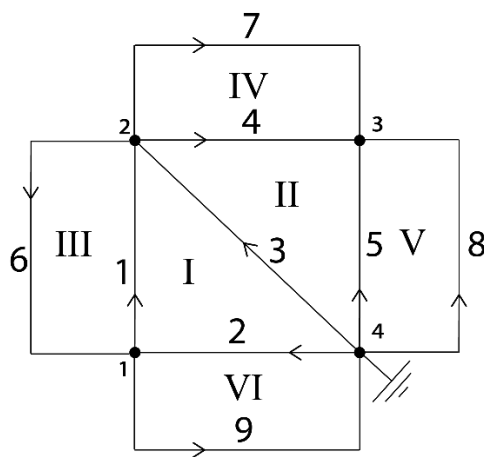
Рисунок 2 – Топологический анализ тестовой схемы №1
 а) граф цепи; б) расчет определителя узловых проводимостей

```

F1 : 0.16666667
F2 : 0.125
destroyed (node filter): ( 1 2 5 )
destroyed (node filter): ( 1 3 4 )
F3 : 0.06666667
F4 : 0.05
F5 : 0.041666668
F6 : 0.033333335
F7 : 0.025
F8 : 0.016666668
Amount of graph' trees: 8
execution time: 0.1428 ms
( 0.7 -0.2 0 )
( -0.2 1.53333 -0.333333 )
( 0 -0.333333 0.583333 )
Yij matrix
Determinant of node condcuton matrix: 0.5250001
sum of all weights: 0.525
    
```

Рисунок 3 – Расчет тестовой схемы №1 программой

Для оценки производительности алгоритма при увеличении размерности графа перейдем к рассмотрению более сложной тестовой схемы №2 (рис. 4).



$$Z1:=1 \quad Z2:=2 \quad Z3:=3 \quad Z4:=4 \quad Z5:=5 \quad Z6:=6 \quad Z7:=7 \quad Z8:=8 \quad Z9:=9$$

$$\begin{aligned}
 Y_{11} &:= \frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_6} + \frac{1}{Z_9} & Y_{12} &:= \frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_6} & Y_{13} &:= 0 \\
 Y_{21} &:= \frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_6} & Y_{22} &:= \frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_3} + \frac{1}{Z_4} + \frac{1}{Z_6} + \frac{1}{Z_7} & Y_{23} &:= \frac{1}{Z_4} + \frac{1}{Z_7} \\
 Y_{31} &:= 0 & Y_{32} &:= \frac{1}{Z_4} + \frac{1}{Z_7} & Y_{33} &:= \frac{1}{Z_4} + \frac{1}{Z_5} + \frac{1}{Z_7} + \frac{1}{Z_8}
 \end{aligned}$$

$$\det \begin{pmatrix} Y_{11} & -Y_{12} & -Y_{13} \\ -Y_{21} & Y_{22} & -Y_{23} \\ -Y_{31} & -Y_{32} & Y_{33} \end{pmatrix} = 1.164$$

(а)

(б)

Рисунок 4 – Топологический анализ тестовой схемы №2
 а) граф цепи; б) расчет определителя узловых проводимостей

Тестовая схема №2 представляет собой усложненную топологию, включающую 9 ветвей и 4 узла (с учетом базисного). Увеличение числа элементов графа ведет к резкому росту общего числа возможных комбинаций, что позволяет более наглядно оценить эффективность работы алгоритма и фильтров отсека.

Результаты машинного расчета тестовой схемы №2 с помощью разработанной программы представлены ниже (см. рис. 5).

```

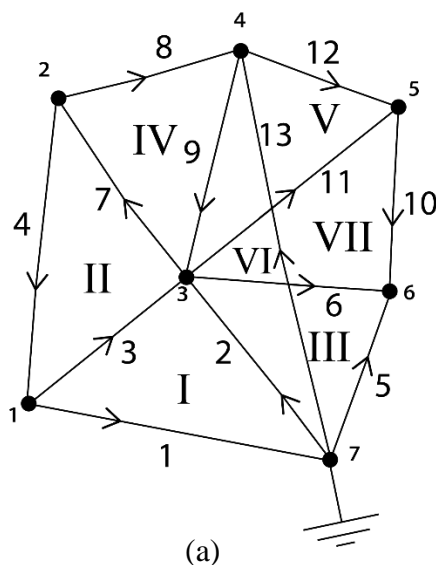
destroyed (node filter): ( 4 5 8 )
F38 : 0.0055555557
destroyed (base node filter): ( 4 6 7 )
F39 : 0.0052083335
F40 : 0.0046296297
destroyed (node filter): ( 4 7 8 )
destroyed (contour filter): ( 4 7 9 )
F41 : 0.0034722222
F42 : 0.004761905
destroyed (contour filter): ( 5 6 8 )
F43 : 0.0037037039
destroyed (node filter): ( 5 7 8 )
F44 : 0.0031746032
destroyed (node filter): ( 5 8 9 )
F45 : 0.0029761905
F46 : 0.0026455028
F47 : 0.0023148148
F48 : 0.001984127
Amount of graph' trees: 48
execution time: 1.4763 ms
( 1.77778 -1.16667 0 )
( -1.16667 1.89286 -0.392857 )
( 0 -0.392857 0.717857 )
Yij matrix
Determinant of node condcution matrix: 1.1641867
sum of all weights: 1.1641864

```

Рисунок 5 – Расчет тестовой схемы №2 программой

Анализ полученных результатов (рис. 5) показывает, что усложнение топологии цепи привело к закономерному увеличению числа возможных деревьев графа с 8 до 48. При этом машинное время, затраченное на комбинаторный перебор и работу алгоритмов отсечения, составило 1.4763 мс. Несмотря на нелинейный рост количества обрабатываемых комбинаций, вычислительные затраты остаются минимальными. Итоговая сумма весов (1.164) полностью совпала с эталонным матричным расчетом.

Для проверки предельной вычислительной мощности предложенного алгоритма произведем расчет тестовой схемы №3, представляющей собой сложный граф с высокой плотностью связей (рис. 6).



$$\begin{aligned}
Y_{11} &= 1 + \frac{1}{3} + \frac{1}{4} & Y_{12} &= \frac{1}{4} & Y_{13} &= \frac{1}{3} & Y_{14} &= 0 & Y_{15} &= 0 & Y_{16} &= 0 \\
Y_{22} &= \frac{1}{4} + \frac{1}{7} + \frac{1}{8} & Y_{21} &= \frac{1}{4} & Y_{23} &= \frac{1}{7} & Y_{24} &= \frac{1}{8} & Y_{25} &= 0 & Y_{26} &= 0 \\
Y_{33} &= \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \frac{1}{6} + \frac{1}{7} + \frac{1}{9} + \frac{1}{11} & Y_{31} &= \frac{1}{3} & Y_{32} &= \frac{1}{7} & Y_{34} &= \frac{1}{9} & Y_{35} &= \frac{1}{11} & Y_{36} &= \frac{1}{6} \\
Y_{44} &= \frac{1}{8} + \frac{1}{9} + \frac{1}{12} + \frac{1}{13} & Y_{41} &= 0 & Y_{42} &= \frac{1}{8} & Y_{43} &= \frac{1}{9} & Y_{45} &= \frac{1}{12} & Y_{46} &= 0 \\
Y_{55} &= \frac{1}{10} + \frac{1}{11} + \frac{1}{12} & Y_{51} &= 0 & Y_{52} &= 0 & Y_{53} &= \frac{1}{11} & Y_{54} &= \frac{1}{12} & Y_{56} &= \frac{1}{10} \\
Y_{66} &= \frac{1}{5} + \frac{1}{6} + \frac{1}{10} & Y_{61} &= 0 & Y_{62} &= 0 & Y_{63} &= \frac{1}{6} & Y_{64} &= 0 & Y_{65} &= \frac{1}{10}
\end{aligned}$$

$$\det \begin{pmatrix} Y_{11} & -Y_{12} & -Y_{13} & -Y_{14} & -Y_{15} & -Y_{16} \\ -Y_{21} & Y_{22} & -Y_{23} & -Y_{24} & -Y_{25} & -Y_{26} \\ -Y_{31} & -Y_{32} & Y_{33} & -Y_{34} & -Y_{35} & -Y_{36} \\ -Y_{41} & -Y_{42} & -Y_{43} & Y_{44} & -Y_{45} & -Y_{46} \\ -Y_{51} & -Y_{52} & -Y_{53} & -Y_{54} & Y_{55} & -Y_{56} \\ -Y_{61} & -Y_{62} & -Y_{63} & -Y_{64} & -Y_{65} & Y_{66} \end{pmatrix} = 0.02849$$

Рисунок 6 – Топологический анализ тестовой схемы №3

а) граф цепи; б) расчет определителя узловых проводимостей

Результаты машинного расчета тестовой схемы №3 с помощью разработанной программы представлены ниже (см. рис.7).

```
destroyed (node filter): ( 6 7 9 10 12 13 )
destroyed (node filter): ( 6 7 9 11 12 13 )
destroyed (node filter): ( 6 7 10 11 12 13 )
destroyed (node filter): ( 6 8 9 10 11 12 )
destroyed (node filter): ( 6 8 9 10 11 13 )
destroyed (node filter): ( 6 8 9 10 12 13 )
destroyed (node filter): ( 6 8 9 11 12 13 )
destroyed (node filter): ( 6 8 10 11 12 13 )
destroyed (node filter): ( 6 9 10 11 12 13 )
destroyed (node filter): ( 7 8 9 10 11 12 )
destroyed (node filter): ( 7 8 9 10 11 13 )
destroyed (node filter): ( 7 8 9 10 12 13 )
destroyed (node filter): ( 7 8 9 11 12 13 )
destroyed (node filter): ( 7 8 10 11 12 13 )
destroyed (node filter): ( 7 9 10 11 12 13 )
destroyed (node filter): ( 8 9 10 11 12 13 )
Amount of graph' trees: 576
execution time: 19.875801 ms
( 1.58333 -0.25 -0.333333 0 0 0 )
( -0.25 0.517857 -0.142857 -0.125 0 0 )
( -0.333333 -0.142857 1.34488 -0.111111 -0.0909091 -0.166667 )
( 0 -0.125 -0.111111 0.396368 -0.0833333 0 )
( 0 0 -0.0909091 -0.0833333 0.274242 -0.1 )
( 0 0 -0.166667 0 -0.1 0.466667 )
Yij matrix
Determinant of node condcuton matrix: 0.028490232
sum of all weights: 0.028490264
```

Рисунок 7 – Расчет тестовой схемы №3 программой

Анализ расчета третьей тестовой схемы (рис. 7) подтверждает высокую эффективность разработанного алгоритма при работе с плотными графами. При увеличении числа узлов и ветвей количество возможных деревьев многократно возросло и составило 576. Благодаря комплексной работе фильтров связности алгоритм успешно отсекает все недействительные комбинации, а машинное время расчета составило всего 19.87 мс. Итоговое значение суммы весов деревьев (0.02849) с высокой точностью совпало с результатом вычисления определителя матрицы узловых проводимостей. Это свидетельствует об отсутствии вычислительных потерь и математической строгости предложенного метода.

Заключение

1. Разработан и программно реализован новый алгоритм поиска и формирования возможных деревьев сложного графа электрической цепи.

2. Разработанный алгоритм исключает необходимость сохранения в памяти ЭВМ огромных массивов данных о самих подграфах, что повышает эффективность его применения.

3. Верификация работы алгоритмов на схемах различной топологической сложности доказала полным совпадением результатов с классическим матричным расчетом.

4. Разработанный программный аппарат может быть использован для расчета коэффициентов токораспределения на основе топологии сложной сети энергосистемы.

Список использованных источников

1. Реза Ф., Сили С. Современный анализ электрических цепей. М.: Энергия, 1964. 480 с.
2. Byerly R.T., Long R.W., King C.W. Logic for applying topological methods to electric networks. AIEE Transactions, Nov.1958, pt. I. v. 77.
3. Sato N. Digital calculation of network and mesh transformation matrices. AIEE Transactions, Oct. 1960, pt.III. v.79.
4. Берж К. Теория графов и ее применения. М.: Изд-во иностр. лите-ры. 1962. 320 с.
5. Гераскин О.Т. Отыскание деревьев графа электрической сети при помощи ЭЦВМ. Известия АН СССР. Энергетика и транспорт. 1965, №4, с 53–60.

6. Гераскин О. Т. Топологическое содержание узлового и контурного определителей электрической сети и расчет их величин при помощи ЦВМ // Известия АН СССР. Энергетика и транспорт, 1966. №2. – С. 59–70.
7. Беллерт С., Возняцки Г. Анализ и синтез электрических цепей методом структурных чисел. М.: Мир, 1972. - 327с.
8. Кристофидес Н. Теория графов. Алгоритмический подход. М.: Мир, 1978, - 432 с.
9. Джандигулов А.Р., Ахметбаев Д.С. Нахождение всех остовных графов заданного графа. Программа для ЭВМ. Свидетельство о внесении сведений в государственный реестр прав на объекты, охраняемые авторским правом. №1551 от 31 января 2019г
10. Akhmetbayev D.S., D.A. Aubakir, Y.Zh. Sarsikeyev, B.A. Bainiyazov, M.A. Surkov, V. Rozhkov, G.N. Ansabekova, A.S. Yerbolova, A.T. Suleimenov, M.S. Tokasheva. Development of Topological Method for Calculating Current Distribution Coefficients in Complex Power// Networks, Results in Physics, 2017, 7, pp. 1644–1649.
11. Akhmetbayev D., Akhmetbayev D.S., Zhumazhanov S., Zhakishev B. New Modeling of Steady-State Modes of Complex Electrical Grids of Power Systems MATEC Web of Conferences 155, 01043 (2018).
12. Джандигулов А.Р., Ахметбаев Д.С. Реализация нового топологического алгоритма расчета коэффициентов токораспределения в сложных электрических сетях. Программа для ЭВМ. Свидетельство о внесении сведений в государственный реестр прав на объекты, охраняемые авторским правом. №1552 от 31 января 2019г.

УДК 797.044

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ НА КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ-НАПРЯЖЕНИЯ

Гайнуллина Данагүл Азаматқызы

dana.gainullina07@gmail.com

Магистрант кафедры «Электроэнергетики»

ЕНУ им.Гумилева, Астана, Казахстан

Научный руководитель: Карджаубаев Н.А.

Аннотация. В статье рассматривается анализ изменения качества электроэнергии-напряжения в распределенной генерации. В ходе исследования особое внимание уделяется изменению показателей отклонения напряжения и активной, реактивной мощности в сети. Было проведено моделирование ветроустановки и солнечной установки в среде MatLAB/Simulink.

Ключевые слова: распределенная генерация, возобновляемые источники энергии, качество электроэнергии, ветрогенераторы.

Номинальный режим энергетической системы, которое отражает состояние сети и баланс между выработкой и потреблением электроэнергии, зависит от качества электроэнергии. В энергосистемах качество электроэнергии имеет важное значение в надежности потреблении электроэнергии, так как именно показатели качества электроэнергии обеспечивают безопасность и экономическую эффективность потребителей электроэнергии. Качеством электроэнергии является отклонение напряжения и частоты в большой степени. По ГОСТ-у 13109-97 который является Госстандартом Республики Казахстан и других стран, нормы показателей напряжения допускаются в нормальных и предельных значениях на выводах электроприемников $\pm 5, и \pm 10 \%$ от номинального значения напряжения. Отклонение частоты от номинального значения по госстандарту имеет нормы значения в нормальных и максимальных ± 0.2 Гц, ± 0.4 Гц . Распределенной генерации называют производство электроэнергии вблизи потребителей, а не на крупных централизованных