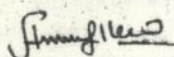


НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ
ИНСТИТУТ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ

На правах рукописи



АЛЬ-ЭЗЗИ АЛИ НЕМР
(ЛИБАН)

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ОПЕРАТИВНОГО
ПЕРСОНАЛА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ СРЕДСТВАМИ ОПТИМАЛЬНОЙ
ОРГАНИЗАЦИИ ВЫЧИСЛЕНИЯ

Специальность 05.14.02 - Электрические станции (электрическая
часть), сети, электроэнергетические
системы и управление ими

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Киев - 1996

621.31



00344063 (K)

Дисертацією является рукопис.

Работа выполнена в отделе автоматизации электрических систем

Института электродинамики НАН Украины, гор. Киев

Научный руководитель - кандидат технических наук,
старший научный сотрудник
Буткевич Александр Федотович

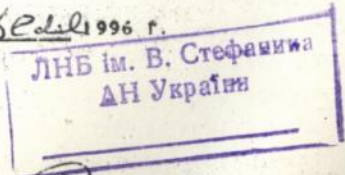
Официальные оппоненты - доктор технических наук
Тисленко Виктор Васильевич
кандидат технических наук,
старший научный сотрудник
Тугай Юрий Иванович

Ведущая организация - Национальный технический университет
Украины (КПИ), гор. Киев, МО Украины

Защита состоится 11 мая 1996 г. в 14⁰⁰ часов на
заседании специализированного ученого совета Д 01.98.04 по защите
диссертаций в Институте электродинамики НАН Украины по адресу :
252680, Киев-57, пр. Победы 56.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института
электродинамики НАН Украины.

Автореферат разослан 12 апреля 1996 г.



Ученый секретарь
специализированного Ученого совета
доктор технических наук, профессор

А. И. ТИТКО

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность и степень исследования тематики диссертации. Ориентация на современные технические средства, широкое использование локальных вычислительных сетей и достижений в области информационных технологий позволяют не только более эффективно решать задачи управления энергосистемами и электрическими сетями (ЭС) в частности, но и содействовать самой технологии управления. При этом появляются качественно новые возможности для автоматизации решения задач оперативного управления ЭС с помощью систем поддержки оперативного персонала в принятии решений (СПОР), сочетающих возможности экспертных и расчетных (моделирующих) систем и реализуемых на базе комплексов технических средств (КТС) автоматизированной системы диспетчерского управления (или в зарубежном варианте - на КТС SCADA / EMS). Работы в этом направлении ведутся различными научными коллективами: в Национальном техническом университете Украины (КПИ), университете "Львівська політехніка", ИЭД НАН Украины, в России, США, Японии, Франции, Германии и ряде других стран. Развитие этого направления позволяет усилить наиболее перегруженный решением задач (особенно в нештатных ситуациях), требующих экспертных знаний и сопряженных с оперативным принятием решения, "элемент" автоматизированной системы диспетчерского управления, в роли которого находится диспетчер. При этом СПОР ориентируются на комплексное решение задач управления, используя для этого структурированные экспертные и вычислительные знания, не исключая при этом возможности и автономного использования подсистем СПОР (экспертной и вычислительной).

Наряду с обеспечением необходимой функциональной гибкости, средства СПОР ЭС должны обладать достаточным быстродействием - одним из необходимых условий их использования в контуре оперативного управления. Это требование в равной мере относится как к экспертной подсистеме СПОР, так и к вычислительной. Учитывая специфику функционирования СПОР и их развития, при их реализации используются принципы функционирования обучаемых моделирующих систем.

В диссертации представлены основные результаты анализа и разработки средств повышения эффективности СПОР ЭС путем оптимальной организации вычисления, основанной на структурированных вычислительных знаниях и средствах синтеза вычислительных структур, методах и алго-

ритмах повышения эффективности вычислений, учитывающих особенности структуры вычислительных знаний СПОП ЭС и использующих принципы, реализуемые в обучаемых моделирующих системах.

Целью настоящей диссертации является исследование методов повышения эффективности систем поддержки оперативного персонала ЭС в принятии решений и развитие вычислительной подсистемы СПОП ЭС путем разработки и реализации эффективных вычислительных алгоритмов для решения задач оптимальной организации вычислений, ориентированных на использование структурированных вычислительных знаний и принципов функционирования обучаемых моделирующих систем.

Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие основные научно-технические задачи:

- анализ проблемы повышения эффективности оперативного управления электроэнергетическими системами (ЭЭС) и ЭС в частности;
- анализ архитектуры СПОП, использующих принципы функционирования обучаемых моделирующих систем, и классификация возникающих при их разработке задач;
- разработка алгоритмов решения задач оптимизации вычисления, основанных на учете топологических особенностей электрических сетей;
- разработка алгоритмов оптимальной организации вычислений, учитывающих особенности математического описания объекта управления и решаемой задачи.

Объектом исследования являются автоматизированные системы диспетчерского управления энергосистем и ЭС.

Методы исследований. В основу исследований положены элементы вычислительной математики и математического моделирования как средства решения поставленных задач. При этом использовались методы анализа режимов ЭЭС, методы машинного моделирования, методы оптимальной организации вычислений, а также результаты исследований в области экспертных систем, обучаемых моделирующих систем, человеко-машинных интерфейсов, баз данных и знаний.

Теоретическая ценность. Исследованы и разработаны методы и алгоритмы оптимальной организации вычислений, предназначенные для реализации в составе вычислительной подсистемы СПОП ЭС и использующие принципы функционирования обучаемых моделирующих систем и структурированные вычислительные знания.

Практическая ценность работы состоит в развитии подходов к соз-

данию систем поддержки оперативного персонала ЭЭС и ЭС в принятии решений, обладающих высокой функциональной гибкостью, эргономичностью и открытостью к расширению функциональных возможностей, в применимости полученных в работе результатов при создании СПОП ЭС и их использовании в практике оперативного управления режимами ЭС.

Научная новизна диссертационной работы состоит в развитии основ построения подсистем оперативного управления режимами ЭЭС и ЭС, используя принципы функционирования обучаемых моделирующих систем, усовершенствовании методов и способов оптимизации вычисления применительно к их реализации в системах поддержки диспетчерского персонала ЭС в принятии решений.

Конкретный личный вклад диссертанта в разработку научных результатов, которые выносятся на защиту:

- обоснование целесообразности построения систем поддержки диспетчерского персонала ЭЭС и ЭС, включая ЭЭС Ливана, на принципах обучаемых моделирующих систем;
- алгоритм разбиения сложной схемы на ряд подсхем в соответствии с критериями, обеспечивающими возможность расчета режимов сложных ЭС с помощью вычислительных средств с ограниченными вычислительными ресурсами;
- алгоритм машинного формирования расчетных схем ЭС на основе упрощения их полных функциональных схем;
- алгоритм переупорядочения переменных с целью уменьшения числа нулевых диагональных элементов в исходной матрице Якоби, ориентированный на работу со структурированными вычислительными знаниями;
- алгоритм получения кодов для решения системы линейных алгебраических уравнений с учетом ее разреженности, ориентированный на работу со структурированными вычислительными знаниями;
- ряд формальных алгоритмов повышения эффективности расчетов, использующих особенности математического описания ЭС на языке, принятом в обучаемых моделирующих системах.

Диссертационные исследования выполнялись в рамках проектов ГКНТ 05.51.05 / 185-92 "Интегрована система управління режимами розподільчих електричних мереж" и 04.11.00 / 022-95 "Интегрована система інформаційного забезпечення електроенергетичних об'єктів розподільчих електричних мереж".

Реализация результатов исследований Разработанные методы и ал-

горитмы оптимизации вычисления использованы при разработке математического обеспечения СПОП ЭС и внедрены в составе СПОП ЭС (I очередь) во Львовских электрических сетях ("Львівелектромережа").

Апробация результатов научных исследований. Основные положения диссертации докладывались и обсуждались в 1995 и 1996 годах на семинарах отдела автоматизации электрических систем Института электродинамики НАН Украины, на заседании кафедры электрических сетей и систем Национального технического университета Украины (КПИ), на семинарах в Университете Монреаля (Квебек - Канада) и в Университете Конкордия (Квебек - Канада).

Публикации. По результатам исследований опубликовано 4 печатные работы.

Структура и объем диссертационной работы. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключен... содержащих 146 страниц машинописного текста, 24 таблицы, 20 рисунков, списка литературы из 89 наименований на 10 страницах и приложения на 2 страницах, содержащего материалы, подтверждающие использование результатов диссертационной работы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность работы, формулируются цели и методы исследования. На основе проведенного анализа делается вывод о необходимости построения систем поддержки диспетчерского персонала электрических сетей на основе обучаемых моделирующих систем, использующих в качестве информационного базиса структурированные вычислительные знания. Здесь также указывается, что одной из важнейших составных частей обучаемых моделирующих систем является подсистема оптимизации вычислений.

В первой главе, носящей постановочный характер, проанализированы особенности ЭЭС Ливана как объекта управления. Анализ особенностей режимов ЭЭС Ливана и перспектив экономического развития страны подтверждает необходимость ускоренного развития электроэнергетики, включая системы автоматического и автоматизированного регулирования и управления. Учитывая динамику режимов ЭЭС Ливана и существующие проблемы с обеспечением надежного энергоснабжения потребителей, возникает потребность в использовании для оперативного управления режимами ЭС средств поддержки оперативного персонала в принятии решений.

Исследование возможных путей разработки средств поддержки опера-

тивного персонала ЭС показывает, что, несмотря на успехи, имеющиеся в области разработки новых технологий программирования, наиболее перспективным является путь, основанный на использовании принципов функционирования обучаемых моделирующих систем и интеграции структурированных вычислительных и экспертных знаний. Показано, что архитектура СПОП ЭЭС и ЭС предполагает наличие нескольких функциональных блоков в соответствии с классами относительно самостоятельных задач, реализация которых позволяет обеспечить решение комплексной задачи оперативного управления режимами ЭС. Обеспечение эффективности функционирования СПОП ЭС во многом зависит от эффективности организации вычислительных процессов средствами вычислительной подсистемы СПОП ЭС, ориентированной на использование структурированных вычислительных знаний, представляемых в виде последовательностей элементарных функций (ПЭФ), и принципов функционирования обучаемых моделирующих систем.

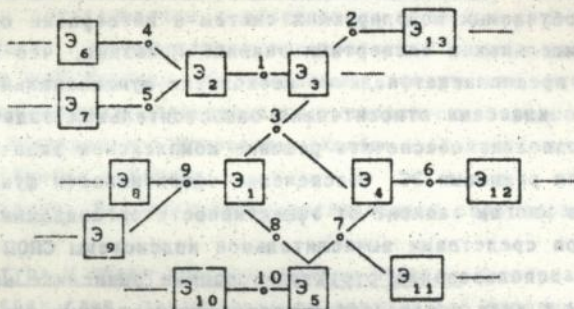
Во второй главе рассмотрены алгоритмы оптимизации вычислений, форма представления исходной информации для которых определяется особенностями организации обучаемых моделирующих систем и которые ориентированы на использование информации о топологии электрических сетей.

Процесс расчета режимов ЭС на основе методов подсхем начинается с процедуры разбиения схемы ЭС на подсхемы. Приступая к разбиению схемы на подсхемы, в первую очередь решается вопрос о критериях, в соответствии с которыми определяется размеры подсхем и состав входящих в них элементов. Простейшим из критериев является ограничение на заданное число элементов в подсхеме. В этом случае исходной для алгоритма разбиения схемы на подсхемы является информация о топологии схемы.

Для фрагмента схемы, показанного на рис. 1, где $Z_1 (i=1, 13)$ - i -й элемент, а числами указаны номера узлов, исходная информация представлена в табл. 1, где в скобках после обозначения элемента указана его принадлежность: схеме (с) или одной из подсхем (в скобках указывается ее номер), а после номера каждого узла указан его тип ("н" означает, что тип еще не определен, в дальнейшем - "в" - внутренний узел подсхемы, "г" - граничный, "с" - узел схемы).

Для данного примера при формировании первой подсхемы в соответствии с разработанным в диссертации алгоритмом обихи список, задаваемый табл. 1, после 5-го шага преобразуется к виду, представленному в табл. 2. При этом в сформированную подсхему входят элементы $Z_2, Z_3,$

$\mathcal{E}_6, \mathcal{E}_7, \mathcal{E}_{13}, \mathcal{E}_1$, внутренними являются узлы 1, 2, 4, 5, а граничными - 3, 8, 9.



Р и с. 1.

Таблица .1.

№ п/п	Элемент (схемы или п/сх)	Узлы подключения	№ п/п	Элемент (схемы или п/сх)	Узлы подключения
1	\mathcal{E}_2 (с)	1(н), 4(н), 5(н)	8	\mathcal{E}_8 (с)	9(н), ...
2	\mathcal{E}_3 (с)	1(н), 2(н), 3(н), ...	9	\mathcal{E}_{12} (с)	6(н), ...
3	\mathcal{E}_6 (с)	4(н), ...	10	\mathcal{E}_9 (с)	9(н), ...
4	\mathcal{E}_7 (с)	5(н), ...	11	\mathcal{E}_{10} (с)	10(н), ...
5	\mathcal{E}_{13} (с)	2(н), ...	12	\mathcal{E}_5 (с)	7(н), 8(н), 10(н)
6	\mathcal{E}_1 (с)	3(н), 8(н), 9(н)	13	\mathcal{E}_{11} (с)	7(н), ...
7	\mathcal{E}_4 (с)	3(н), 6(н), 7(н)			

Рассмотренный алгоритм разбиения сложной нелинейной схемы на подсхемы основывается на критерии, позволяющем судить с необходимым объемом оперативной памяти весьма приближенно. Более точную информацию для этого можно получить, если в качестве критерия использовать ограничение на число уравнений, описывающих процесс в подсхеме. Однако, в этом случае необходимо использовать дополнительную информацию, которую дают функциональные модели (ФМ) элементов сетей. Тогда, реализовав алгоритм подсчета числа уравнений, возможно точнее оценить объем оперативной памяти.

В общем случае, если обозначить число внутренних узлов в подсхеме n_y , число уравнений для каждого узла m_y , число элементов типа k n_k

Таблица 2.

№ п/п	Элемент (схемы или п/сх)	Узлы подключения	№ п/п	Элемент (схемы или п/сх)	Узлы подключения
1	Z_2 (1)	1(в), 4(в), 5(в)	8	Z_8 (с)	9(с), ...
2	Z_3 (1)	1(в), 2(в), 3(г), ...	9	Z_{12} (с)	6(н), ...
3	Z_6 (1)	4(в), ...	10	Z_9 (с)	9(с), ...
4	Z_7 (1)	5(в), ...	11	Z_{10} (с)	10(н), ...
5	Z_{13} (1)	2(в), ...	12	Z_5 (с)	7(н), 8(с), 10(н)
6	Z_1 (1)	3(г), 8(г), 9(г)	13	Z_{11} (с)	7(н), ...
7	Z_4 (с)	3(с), 6(н), 7(н)			

и число добавляемых уравнения при включении элемента типа k в подсхему n_k , то полное число уравнений в подсхеме определяется в соответствии с формулой

$$N = n_y m_y + \sum_{k=1}^l n_k n_k$$

где l - число типов элементов, входящих в подсхему.

Функциональные схемы ЭС содержат большое число выключателей, разъединителей, отделителей, т.е. коммутационных аппаратов (КА), состояние которых контролирует и состоянием которых управляет оперативный персонал ЭС и учет которых при формировании расчетных схем носит специфический характер. Очевидно, что если такой элемент заведомо будет находиться в отключенном состоянии на всем временном интервале использования сформированной модели ЭС, то его вообще не следует учитывать в процессе текущего формирования расчетной схемы. Включенное состояние КА приводит к тому, что в расчетной схеме два узла превращаются в один. Одним из условий достижения высоких эргономических и вычислительных характеристик СПОП ЭС является реализация эффективного перехода от полной функциональной схемы ЭС к расчетной, предоставляя оперативному персоналу для работы полную функциональную схему.

С учетом сказанного, процесс преобразования функциональной схемы в расчетную начинается с удаления из списка элементов схемы отключенных элементов. Дальнейшее преобразование информации уже осуществляется с использованием этого нового списка. На втором этапе производится

удаление из списка КА. Алгоритм этой процедуры несколько сложнее, чем процедуры удаления отключенных элементов и поэтому подробно рассмотрен в диссертации.

Этот алгоритм использует информацию о типах элементов, характеризующих свойства их математических моделей. Использование ФМ позволяет автоматизировать процедуру идентификации типов элементов. В работе решена задача идентификации элементов типа КА. В табл. 3 представлены в виде ПЭФ функциональные зависимости (ФЗ) и их производные, соответствующие ФМ КА (через $I_B, I_M, U_{B1}, U_{M1}, U_{B2}, U_{M2}$ соответственно обозначены вещественные и мнимые составляющие тока через КА и напряжений на его входе и выходе). Особенностью ФМ КА есть равенство 0, 1 или -1 всех e_i для производных от ФЗ (e_i), что и используется в качестве формального признака для идентификации элементов ЭС, имеющих свойства КА.

Таблица 3.

ФЗ	ПЭФ ФЗ	ПЭФ производных от ФЗ по:					
		U_{B1}	U_{M1}	I_B	I_M	U_{B2}	U_{M2}
f_1	$e_1 = I_B$	$e_1 = 0$	$e_1 = 0$	$e_1 = 1$	$e_1 = 0$	$e_1 = 0$	$e_1 = 0$
f_2	$e_1 = I_M$	$e_1 = 0$	$e_1 = 0$	$e_1 = 0$	$e_1 = 1$	$e_1 = 0$	$e_1 = 0$
f_3	$e_1 = U_{B1} - U_{B2}$	$e_1 = 1$	$e_1 = 0$	$e_1 = 0$	$e_1 = 0$	$e_1 = -1$	$e_1 = 0$
f_4	$e_1 = U_{M1} - U_{M2}$	$e_1 = 0$	$e_1 = 1$	$e_1 = 1$	$e_1 = 0$	$e_1 = 0$	$e_1 = -1$
f_5	$e_1 = -f_1$	$e_1 = 0$	$e_1 = 0$	$e_1 = -1$	$e_1 = 0$	$e_1 = 0$	$e_1 = 0$
f_6	$e_1 = -f_2$	$e_1 = 0$	$e_1 = 0$	$e_1 = 0$	$e_1 = -1$	$e_1 = 0$	$e_1 = 0$

Учитывая, что эффективность решения систем уравнения, описывающих процессы в электрических сетях, существенно зависит от порядка следования уравнений и переменных, и анализируя разработанные для обучаемых моделирующих систем алгоритмы упорядочения, установлено, что эти алгоритмы требуют доработки. Необходимость доработки обусловлена тем, что при использовании указанных алгоритмов возможно появле-

ние нулевых диагональных элементов. В связи со сказанным возникает задача переупорядочения (на "логическом" уровне) уравнений и переменных.

Основная идея первого способа переупорядочения заключается в том, чтобы поменять местами те элементы (узлы), подсистемы уравнений которых имеют нулевые диагональные блоки, с элементами (узлами), подсистемы которых имеют ненулевые диагональные блоки. При этом обязательным условием является неравенство нулю подматриц связи меняемых местами элементов и узлов. Для более сложного случая, когда нет элемента (узла), который можно поменять местами с элементом (узлом), имеющим нулевой диагональный блок, разработан алгоритм переупорядочения переменных.

Методы кодирования позволяют, в основном, исключить логические операции из вычислительных процессов и обеспечивают переход к одним арифметическим операциям. Структура кодов и алгоритмы их формирования зависят от типа процедуры, для реализации которой они используются.

В диссертационной работе приведен алгоритм формирования кодов W , структура которых имеет следующий вид :

$$\dots \{ I_{11}, N_{11}, N_{21}, N_{31}, [I_{m1}, m; m \in M_1], [I_{1k}, k; k \in K_1], \\ [I_{nk}; m \in M_1, k \in K_1], N_{41} \} \dots$$

где $I_{11}, I_{m1}, I_{1k}, I_{nk}$ - индексы элементов массива Z , предназначенного для хранения значений элементов матрицы Якоби; m и k - номера строк и столбцов ненулевых элементов, расположенных ниже и правее ведущего элемента, которые задаются множествами номеров M_1 и K_1 ; N_{11}, N_{21}, N_{31} - индексы элементов кодов W , которыми заканчивается информация, определяемая указанными выше множествами; N_{41} - индекс элемента кодов W , используемого для хранения индекса I_{11} .

Поскольку процесс решения систем линейных алгебраических уравнений состоит из процедур LU-разложения, прямого и обратного ходов, то при наличии кодов W выполнение этих процедур в основном сводится к выполнению одних арифметических операций.

В третьей главе исследуются вопросы, связанные с разработкой ряда алгоритмов оптимизации вычислений, для которых исходной служит информация в виде функциональных моделей и последовательностей элементарных функций, являющихся элементами языка, специально разработанно-

го для обучаемых моделирующих систем.

Первым этапом решения задачи математического моделирования является формирование ее математической модели, практически сводящееся к определению невязок уравнений и элементов матрицы Якоби. Эти процедуры предполагают проведение вычисления по заданным формулам, которые задаются при вводе функциональных моделей. Функциональные зависимости этих моделей автоматически преобразуются в ПЭФ. Полученные таким образом ПЭФ непосредственно используются для определения невязок. Кроме того, эти ПЭФ служат исходной информацией для получения ПЭФ, представляющих производные от функциональных зависимостей и используемых при определении элементов матрицы Якоби.

Элементарные функции (ЭФ), входящие в ПЭФ, в вычислительных алгоритмах используются в виде кодов, представляющих пятерки или семерки символов, если ЭФ содержат соответственно один или два операнда. Первая из символов такого кода указывает тип ЭФ, второй и третий - соответственно тип и индекс результата, четвертый и пятый - тип и индекс первого операнда, а шестой и седьмой - тип и индекс второго операнда.

Однако, непосредственное использование этих кодов приемлемо для алгоритмов синтеза вычислительных процедур, а при непосредственном решении математических задач оказывается неэффективным, так как реализация таких процедур сопряжена с выполнением большого числа дополнительных, в основном логических, операций.

Интерпретирующие коды позволяют исключить лишние операции из вычислительных процессов. Их использование обеспечивает переход в основном к арифметическим операциям. Сравнивая коды для ПЭФ и интерпретирующие коды, легко увидеть, что для получения интерпретирующих кодов из кодов для ПЭФ достаточно в последних заменить коды результата и операндов и их индексы на индексы элементов массива Z, предназначенного для хранения численных значений всех величин, участвующих в вычислительном процессе.

Всю необходимую для организации вычислений невязок и элементов матрицы Якоби информацию можно представить с помощью множества СД (СТРУКТУРА ДАННЫХ) и уже упомянутого массива z (МАССИВ ЗНАЧЕНИЙ). Например, для модели ЛЭП множество СД имеет вид, приведенный в табл. 4, где приняты следующие обозначения: ТВ и ИВ - тип и индекс атрибута, f - ФЭ, с - константа, e - ЭФ, x - переменная, z_j - номер

элемента массива z , равного величине J .

При условии, что информация представлена указанным способом разработан алгоритм преобразования кодов для ПЭФ в интерпретируемые. Для рассматриваемого примера модели ЛЭП в результате преобразования получатся интерпретируемые коды, которые представлены в табл. 5, где *, -, + обозначены коды соответствующих арифметических операций, а I - код операции изменения знака.

Учитывая, что очень часто в интерпретируемых кодах можно выделить группы с одинаковым кодом операции, окончательный вид кодов, получаемых с помощью разработанного в работе алгоритма, представлен на

Таблица 4.

Номер записи	АТРИБУТЫ множества СД		Массив z	Номер записи	АТРИБУТЫ множества СД		Массив z
	ТВ	ИВ			ТВ	ИВ	
1	f	1	z_{f1}	10	e	4	z_{e4}
2	c	1	z_{c1}	11	f	3	z_{f3}
3	f	5	z_{f5}	12	f	4	z_{f4}
4	c	2	z_{c2}	13	f	5	z_{f5}
5	f	6	z_{f6}	14	x	1	z_{x1}
6	e	1	z_{e1}	15	x	2	z_{x2}
7	e	2	z_{e2}	16	f	6	z_{f6}
8	f	2	z_{f2}	17	x	3	z_{x3}
9	e	3	z_{e3}	18	x	4	z_{x4}

рис. 2.

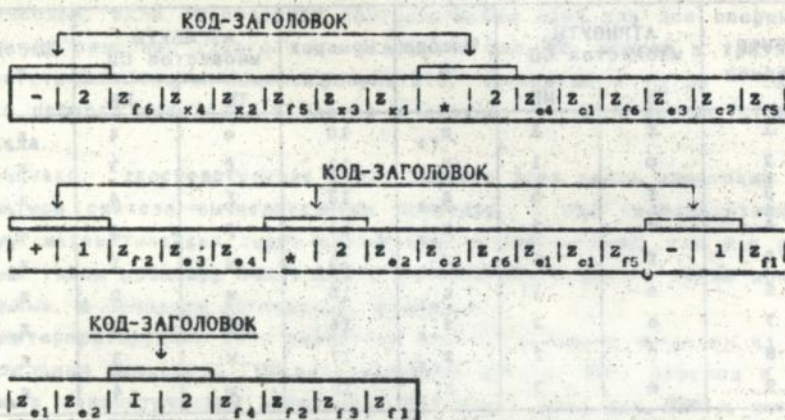
При формировании интерпретируемых кодов может оказаться, что некоторые элементарные функции имеют в качестве операндов константы. В этом случае для них коды не составляются, выполняются соответствующие вычисления, а в коды включаются лишь ссылки на полученные результаты.

В данной главе также приводятся результаты разработки алгоритма, предназначенного для формирования кодов, необходимых для размещения вычисленных значений невязок и элементов матрицы Якоби в области памяти, служащей для их хранения.

При разработке алгоритмов оптимизации вычислений возникает задача классификации элементов на линейные и нелинейные. Эта задача ре-

Таблица 5.

Номер п/п	Код операции	Индексы	Номер п/п	Код операции	Индексы
1	-	z_{r6} z_{x4} z_{x2}	6	*	z_{e2} z_{e2} z_{r6}
2	-	z_{r5} z_{x3} z_{x1}	7	*	z_{e1} z_{c1} z_{r5}
3	*	z_{e4} z_{e1} z_{r6}	8	-	z_{r1} z_{e1} z_{e2}
4	*	z_{e3} z_{c2} z_{r5}	9	I	z_{r4} z_{r2} z_{r5}
5	+	z_{r2} z_{e3} z_{e4}	10	I	z_{r3} z_{r1} z_{e4}



Р и с. 2.

шается путем анализа ПЭФ для производных от функциональных зависимостей функциональных моделей элементов электрической сети по независимым переменным этих моделей. Если оказывается, что в выражения для этих ПЭФ входят лишь одни константы, то элемент, представляемый такой ФМ, является линейным. Наличие в выражениях символов независимых переменных приводит к тому, что такой элемент следует отнести к числу нелинейных.

Описание математических моделей элементов электрических сетей в виде функциональных моделей и последовательностей элементарных функ-

ция позволяет также формализовать и автоматизировать процедуру идентификации нулевых диагональных элементов. Решение этой задачи сводится к анализу ПФ для производных, входящих в выражение для определения соответствующего диагонального элемента. Если все такие ПФ нулевые, то и диагональный элемент нулевой. В противном случае он будет ненулевым.

При разработке большинства алгоритмов в данной работе используется аппарат ПФ. Этот аппарат используется также и в процедуре определения элементов матриц Якоби. Альтернативой такому пути может быть, например, метод численного дифференцирования.

Однако, проведенный в работе сравнительный анализ этих двух путей вычисления элементов матриц Якоби показывает, что метод ПФ, кроме того, что характеризуется отсутствием методической погрешности, во многих случаях имеет значительные преимущества и с точки зрения вычислительных затрат.

Более полное представление о соотношении вычислительных затрат при использовании обоих методов дает табл. 6, где приведены вычислительные затраты на примере вычисления вещественных составляющих токов балансирующего генератора и ЛЭП.

Таблица 6.

Наименование ФЭ	Вещественная составляющая тока балансирующего генератора	Вещественная составляющая тока ЛЭП
Число ЭФ в ФЭ	7	8
Число переменных	4	4
//	Число арифметических операций	
Всего для метода ПФ	5	2
Всего для численного дифференцирования	$10 \times 4 = 40$	$11 \times 4 = 44$

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

В диссертационной работе получили развитие основы построения по-

дсистем оперативного управления ЭЭС и ЭС, использующих принципы функционирования обучаемых моделирующих систем. Решена задача повышения эффективности систем поддержки оперативного персонала ЭС в принятии решений путем разработки и реализации в их составе комплекса алгоритмов оптимальной организации вычислений, обеспечивающих эффективную реализацию гибких вычислительных процедур при решении задач оперативного управления режимами ЭС. Полученные результаты позволяют существенно (в 2-3 раза) повысить быстродействие вычислительных процедур СПОП ЭС.

Основные научные и практические результаты проведенных исследований можно сформулировать следующим образом:

1. Разработан алгоритм разбиения исходной сложной схемы электрической сети на ряд отдельных подсетей в соответствии с критериями, позволяющими использовать вычислительные средства с ограниченными ресурсами оперативной памяти, и основанный на использовании структурированных вычислительных знаний и принципов функционирования обучаемых моделирующих систем.

2. Разработан алгоритм перехода от полной функциональной схемы сети (которая используется диспетчером) к расчетной, что позволяет не только автоматически учитывать все изменения топологии сети, но и значительно сократить вычислительные затраты при расчете режима сети.

3. Усовершенствованы алгоритмы упорядочения уравнений математической модели установившегося режима электрической сети, ориентированные на использование структурированных вычислительных знаний, путем переупорядочения независимых переменных этих уравнений с целью обеспечения вычислительной устойчивости их решения.

4. Разработан алгоритм получения кодов для решения разреженных систем линейных алгебраических уравнений, используемых на шаге расчета установившегося режима электрической сети средствами СПОП ЭС, что позволяет практически полностью исключить логические операции, возникающие при работе с разреженными матрицами.

5. Разработаны алгоритмы получения кодов, используемых СПОП ЭС и необходимых для вычисления значений невязок и элементов матриц Якоби, а также их размещения в области памяти, выделяемой для хранения этих значений. Алгоритмы ориентированы на использование структурированной информации, вводимой на языке, принятом в обучаемых моделирующих системах.

6. Путем сопоставления оценок вычислительных затрат, полученных на основании анализа формальных процедур вычисления элементов матриц Якоби; используемых при моделировании режимов электрических сетей, показаны преимущества структуризации вычислительных знаний в виде последовательностей элементарных функций. Преимущества заключаются как в сокращении вычислительных затрат, так и в отсутствии методической погрешности вычисления. Последнее характерно для метода численного дифференцирования, используемого в практике расчетов для получения "частных производных" при решении задач анализа и управления режимами энергосистем.

7. Разработаны формальные алгоритмы реализации вспомогательных процедур классификации элементов ЭС на линейные и нелинейные, а также процедуры определения нулевых диагональных элементов матриц Якоби, которые являются составной частью алгоритмов разбиения сложных схем на подсхемы и переупорядочения переменных и ориентированы на работу со структурированными вычислительными знаниями.

8. Основные научные результаты работы и полученные практические результаты использованы при разработке систем поддержки оперативного персонала электрических сетей в принятии решений.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

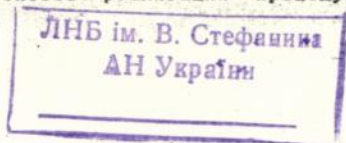
1. Буткевич А. Ф., Зозуля А. М., Эль-Эззи А. Н. Формальная процедура получения расчетных схем электрических сетей // Техн. электродинамика. - 1995, № 5. - С. 61-65.

2. Левитский В. Г., Рыбина О. Б., Эль-Эззи А. Н. Сравнительный анализ методов численного дифференцирования и последовательностей элементарных функций // Автоматизация и релейная защита в энергосистемах. - Киев: Ин-т электродинамики НАН Украины, 1995. - С. 77-85.

3. Al-Ezzi, Ali. Planification de la production d'un reseau hypothetique au moyen de la methode de probabillite de perte de charge (LOLP). - ETUDE DE LA FIABILITE D'UN RESEAU ELECTRIQUE (RECUEIL DES RAPPORTS DE PROJETS), Ecole Polytechnique De Montreal, 1995. - P. 1-5.

4. Буткевич А. Ф., Кириленко А. В., Левитский В. Г., Эль-Эззи А. Н. Разбиение сложных электрических схем на подсхемы в соответствии с заданными критериями // Техн. электродинамика. - 1996, № 2. - С. 59-62.

Личный вклад автора. В работах, опубликованных в соавторстве, соискателю принадлежит: - способ реализации процедуры упрощения



функциональных схем электрических сетей [1], - оценки числа арифметических операций для сравнения двух способов вычисления значения производных [2], - алгоритмы разбиения сложной нелинейной схемы на подсхемы, использующий критерии, обеспечивающие рациональное использование доступной оперативной памяти [4].

ИИИ им. В. Стеклова
АН УССР

ANNOTATION

Al-Ezzi A. N. " *Increase of efficiency of systems of support of operative personnel of electrical networks by means of optimum organization of calculations* ".

The dissertation is presented for Ph.D. degree in the speciality 05.14.02 - Power stations (electrical part), networks power systems and management by them. Institute of electrodynamics of Ukrainian National Academy of Sciences, Kyiv, 1996.

4 scientific works are submitted which contain theoretical and experimental researches of means of optimum organization of calculations for increase of efficiency of electrical networks operative management. Is offered and realized a number of algorithms which provide increase of efficiency of functioning of systems of support of operative personnel of electrical networks in acceptance of the decisions.

АНОТАЦІЯ

Аль-Еззі А. Н. " *Підвищення ефективності систем підтримки оперативного персоналу електричних мереж засобами оптимальної організації обчислень* ".

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.02. - Електричні станції (електрична частина), мережі, електроенергетичні системи та управління ними. Ін-т електродинаміки НАН України, Київ, 1996р.

Захищаються 4 наукові праці, які містять теоретичні та експериментальні дослідження засобів оптимальної організації обчислень для підвищення ефективності оперативного управління режимами електричних мереж. Запропоновано та реалізовано ряд алгоритмів, що забезпечують підвищення ефективності функціонування систем підтримки оперативного персоналу електричних мереж в прийнятті рішень.

Ключові слова: електричні мережі, оперативний персонал, оперативне управління режимами, алгоритми, моделююча система, оптимальна організація обчислень.

Підписано к печати 10.04.1996 г. формат 60x84/ТБ

Бумага офсетная. Усл.-печ. лист. 1,0. Уч.-изд. лист 1,0.

Тираж 100. Заказ 155. Цена договорная.

Полиграф. уч-к Института электродинамики НАН Украины
252057, Киев-57, проспект Победы, 56.

249 261

AB 34.499

AB 34.499