

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ
ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ МОДЕЛИРОВАНИЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ

На правах рукописи

ЛЮШЕНКО Леся Анатольевна

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ
ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ МАГИСТРАЛЬНЫМИ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ

Специальность 05.13.02 - математическое моделирование
в научных исследованиях

Лашко

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Киев - 1995

001:51

АВ 33.079

Диссертацией является рукопись
Работа выполнена в Институте
энергетики Национальной академии наук Украины

ЛННБ України ім.В.Стефаника



00761304 (L)

Научный руководитель - доктор технических наук,
профессор Береговенко
Геннадий Яковлевич

- Официальные оппоненты:
1. Доктор технических наук,
профессор Катков Александр
Федорович
 2. Кандидат технических наук
Паренко Виктор Николаевич

Ведущая организация: Научно-производственная корпорация
"Киевский институт автоматики"

Защита состоится "26" октября 1995 г. в 14 час. на
заседании специализированного совета Д 01.91.01 в Институте
проблем моделирования в энергетике НАН Украины (252680,
Киев - 164, ул.Генерала Наумова, 15).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института
проблем моделирования в энергетике НАН Украины.

Автореферат разослан "23" сентября 1995 г.

Ученый секретарь
Специализированного совета
кандидат технических наук

ЛННБ ім. В. Стефаника

2001

Семагица Э.П.

Актуальность проблемы. Постоянно возрастающая потребность в энергоресурсах, напряженный энергетический баланс Украины делают актуальной проблему рационального использования энергоресурсов за счет повышения эффективности систем электро-, тепло-, водо- и газоснабжения или магистральных энергетических систем.

Магистральная энергетическая система (МЭС) представляет собой упорядоченную совокупность технических и естественных объектов, предназначенных для преобразования, передачи и распределения топливно-энергетических ресурсов.

Улучшение технико-экономических и экологических показателей энергетических систем неразрывно связано с совершенствованием технологии и средств диспетчерского управления энергетическими системами, внедрением электронно-вычислительной техники в практику работы диспетчерских служб, переходом от анализа режимов работы отдельных объектов энергосистем к изучению и формированию режимов работы энергосистем в целом.

Вместе с тем, каждая из перечисленных выше отраслей энергетики имеет определенные наработки и опыт эксплуатации и оперативного диспетчерского управления.

Акцентируя внимание на задачах оперативного диспетчерского управления, следует отметить, что они решаются в соответствии с технологическими особенностями магистральных энергетических систем, их оснащенностью специфическими средствами измерения и обработки информации.

Таким образом, актуальной является проблема реализации единого подхода, общих описаний и регламентаций при постановке и решении задач оперативного диспетчерского управления магистральными энергосистемами.

Математическое моделирование режимов работы энергосистемы осложняется большим разнообразием системообразующих элементов, неоднородностью физических процессов. Основой построения обобщенной математической модели является теория энергетических цепей, которая базируется на аналогиях в описаниях элементарных структур различной физической природы: индуктивностей, емкостей, упругостей и жесткостей и т.д.

Используя общее математическое описание режимов работы магистральных энергосистем, можно сформулировать общие зада-

чи оперативного диспетчерского управления. Это позволит опыт внедрения оперативного диспетчерского управления электроэнергетическими, газотранспортными системами распространить, в частности, на городские газовые сети (ГГС).

Целью работы является разработка математических моделей и программы средств моделирования, предназначенных для автоматизации процессов принятия управляющих решений диспетчерскими службами при оперативном управлении системами электро-, тепло-, водо- и газоснабжения.

Основные задачи исследования формулируются следующим образом:

- разработать обобщенную математическую модель системы транспорта энергопродуктов;

- проанализировать существующие математические модели для режимов работы магистральных энергетических систем и сформулировать их в базисе обобщенных переменных;

- реализовать предложенный обобщенный подход при разработке алгоритмов и программ математического моделирования городской газовой сети различных ступеней давления;

- разработать методику решения задачи контроля режимов работы городской газовой сети в условиях неполной информации об объекте, основанную на предложенных средствах моделирования;

- выполнить вычислительный эксперимент по оценке адекватности и эффективности моделирования режимов работы ГГС;

- разработать комплекс прикладных программ режимов работы городских газовых сетей, ориентированный на практическое использование в условиях оперативного управления.

Основными методами исследований, с помощью которых решались задачи, поставленные в диссертационной работе, являются методы формирования моделей элементов энергетической цепи, основанные на энергетических аналогиях; численные операторные методы и блочные численные методы, основанные на локально-интегральных преобразованиях, а также методы вычислительного эксперимента.

Научная новизна результатов диссертационной работы заключается в следующем:

- предложен обобщенный подход к построению математических моделей энергетических систем различной физической при-

роды (магистральных энергетических систем);

- модифицированы обобщенные методы узловых потенциалов и контурных токов применительно к энергетическим цепям с распределенными параметрами;

- на основе предложенного подхода получены математические модели элементов МЭС : генераторов и трехфазных линий электропередач электроэнергетических систем , насосов и трубных участков водоснабжающих систем, трубных участков и газоперекачивающих агрегатов газотранспортных систем;

- в базисе обобщенных переменных сформулированы общие задачи оперативного диспетчерского управления электро-, тепло-, водо- и газоснабжения;

- сформулированы условия применимости математических моделей к городским газовым сетям высокого, среднего и низкого давления ;

- разработаны и реализованы алгоритмы решения задач контроля и прогнозирования режимов работы городской газовой сети в условиях неполной информации.

Практическая ценность. Теоретические результаты диссертационной работы реализованы в комплексе программ, ориентированном на решение задачи контроля стационарного неизотермического режима работы городской газовой сети. Комплекс программ дополнен сервисными программными средствами, позволяющими проводить вычислительный эксперимент в режиме диалога.

Кроме того, разработан пакет программ исследования нестационарного неизотермического режима городской газовой сети, который позволяет отслеживать динамику процессов газопотребления, оперативно обнаруживать нарушения технологических режимов, оценивать реакцию городской газовой сети на управляющие воздействия.

С помощью разработанного комплекса программ и реальной исходной информации выполнены оценки газопотребления на участке газовой сети г.Киева , а также проведен расчет нестационарного неизотермического режима работы ГТС.

Внедрение результатов. Разработанная методика и программные средства моделирования городских газовых сетей были внедрены в производство для проведения исследований режимов работы газовой сети г.Киева.

Апробация работы. Основные результаты, полученные в диссертационной работе, докладывались и обсуждались на Республиканской школе-семинаре "Теоретическая электротехника, электроника и моделирование" (г. Львов 1993), научных семинарах и конференциях молодых ученых и специалистов Института проблемы моделирования в энергетике НАН Украины.

Публикации. Основное содержание диссертации изложено в 5 печатных работах.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы, содержащего 105 наименований, двух приложений и изложена на 193 страницах машинописного текста, включающего 17 рисунков и 16 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение посвящено обоснованию актуальности темы диссертационной работы, указаны цель и задачи исследования, приведен краткий обзор работы.

В первой главе - "Магистральные энергетические системы" - обсуждаются структура и состав электроэнергетических, газотранспортных, водоснабжающих, газораспределительных систем. Они характеризуются рядом специфических особенностей, обусловленных общей целью - обеспечить доставку энергии потребителям. Системы транспорта энергопродукта включают в себя источники энергопродукта, магистральную сеть, а также распределительную сеть потребителей.

Рассмотрены задачи оперативного диспетчерского управления магистральными энергосистемами, которые решаются в соответствии с технологическими особенностями энергосистем, их оснащенностью средствами измерения и обработки информации, а также опыта их эксплуатации.

Диспетчер располагает дискретной информацией, периодически поступающей из различных точек системы. Эта информация в силу технических и технологических причин не отражает полностью состояние энергосистемы. Ее необходимо верифицировать, основываясь на определенной математической модели энергосистемы. Эта модель характеризует процессы, протекающие в энергосистеме, и позволяет осуществить оперативный

анализ состояния энергосистемы.

На основе уравнений, описывающих состояния электроэнергосистемы, газотранспортной системы и инженерной сети можно составить обобщенную математическую модель магистральной энергосистемы.

Состояние энергосистемы с произвольной схемой соединений, состоящей из m узлов, n ветвей, k линейно независимых контуров ($r = 1, 2, \dots, k$), можно описать следующим образом:

- каждая i -ая ветвь магистральной энергосистемы характеризуется выражением вида

$$f(i_i, u_i) = 0, \quad (1)$$

в котором $i_i = i_i(x, t)$ являются компонентами вектора $I = (i_1, i_2, \dots, i_n)^T$. $u_i = u_i(x, t)$ - вектора $U = (u_1, u_2, \dots, u_n)^T$, где x и t - пространственная и временная координаты;

- для каждого j -го узла системы справедливы уравнения материального баланса, отражающие принцип неразрывности потока,

$$\sum_{i \in j} i_i = 0 \quad (2)$$

При этом суммирование ведется по всем ветвям i , принадлежащим j -му узлу, $j = 1, 2, \dots, m$;

- баланс энергий в независимом контуре r магистральной энергосистемы описывается выражением вида

$$\sum_{i \in r} u_i = 0 \quad (3)$$

Сформулированы общие задачи управления магистральными энергосистемами: задачи контроля, прогнозирования и стабилизации режима.

Задача контроля сводится к оцениванию исходной информации и идентификации. Измеренные значения параметров режима \bar{V} отличаются от истинных значений $V(x)$ на величину ошибки ϵ такой, что

где Z содержит в общем случае переменные режима, характеризующие режим \bar{I} , \bar{U} . При этом определяются векторы \bar{V}' , \bar{D}' , наиболее близкие в смысле критериев качества к векторам истинных параметров. Решение задачи сводится к минимизации функционалов

$$\varphi_1 = [\bar{V} - \bar{V}(\bar{Z})]^T R^{-1} [\bar{V} - \bar{V}(\bar{Z})] \rightarrow \min, \quad (4)$$

$$\varphi_2 = \sum_{t=1}^K \int_{t_{рек}}^{t_{рек} + T} [\bar{V}_t - \bar{V}(\bar{X}_t, \bar{D}_t)]^T R_v^{-1} [\bar{V}_t - \bar{V}(\bar{X}_t, \bar{D}_t)] \rightarrow \min, \quad (5)$$

где R , R_v - матрицы ковариаций, K - число моментов времени, T - знак транспонирования.

В качестве основного критерия при прогнозировании нормального режима любой из магистральных энергосистем возьмем функционал

$$\varphi = \sum_{j=1}^m C_{\delta j} + \sum_{i=1}^n C_{3i} \rightarrow \min, \quad (6)$$

где $C_{\delta j}$ - стоимость энергии, вырабатываемой в j -ом узле, $j = 1, 2, \dots, m$; C_{3i} - стоимость энергии, затрачиваемой в i -ой ветви магистральной энергосистемы.

Обобщением рассмотренных критериев коррекции режимов работы электроэнергосистемы, газотранспортной системы и инженерной сети, является критерий

$$\varphi = \sum_j^m (U_j^{пл} - U_j)^2 \rightarrow \min, \quad (7)$$

в котором $U_j^{пл}$ - планируемое, U_j - реальное значения параметров в узле j , $j = 1, 2, \dots, m$.

Задачи диспетчерского контроля и управления магистральными энергосистемами являются оптимизационными с целевой функцией и учетом режимных (1)-(3) и технологических ограничений

$$\begin{aligned} \bar{X}_{\min} &\leq \bar{X} \leq \bar{X}_{\max}, \\ \bar{D}_{\min} &\leq \bar{D} \leq \bar{D}_{\max}. \end{aligned} \quad (8)$$

Во второй главе - "Математическое моделирование магистральных энергосистем" отмечается, что построение обобщенной

математической модели путем объединения уравнений ее элементов порождает системы нелинейных дифференциальных уравнений в обыкновенных и частных производных больших размерностей, которые зачастую не поддаются даже численному анализу.

Показано, что при моделировании магистральных энергетических систем целесообразно использовать понятие энергетические цепи. Эта цепь описывается с привлечением представлений - обобщенных последовательных $i(t)$ и параллельных переменных $u(t)$. Отмечается, что соотношения между последовательными и параллельными переменными для основных элементов энергетической цепи с сосредоточенными параметрами аналогичны соотношениям, связывающим напряжения и токи электрической цепи. При этом электрическая цепь описывается скалярными выражениями, энергетическая - векторно-матричными. Методы анализа электрических цепей в векторно-матричной форме полностью применимы к анализу энергетических цепей.

Анализируются математические модели элементов энергетических систем. Источники энергии в магистральных энергосистемах моделируются цепями с сосредоточенными параметрами. На основе уравнений Парка-Горева для синхронной машины получено математическое описание обратимого неидеального преобразователя энергии

$$(X_1 + X_2 \frac{d}{dt}) \bar{i} = \bar{u} \quad (9)$$

Здесь X_1, X_2 - матрицы активно-реактивных электромеханических сопротивлений, \bar{i} и \bar{u} - векторы последовательных и параллельных переменных, содержащие компоненты, характеризующие электрические и механические процессы. Приведены описания газоперекачивающих агрегатов и насосов водоснабжающей сети. В отличие от электрических цепей, где источники ЭДС и тока имеют по одной характеристике, в энергетических цепях источники последовательных и параллельных переменных имеют, в общем случае, несколько характеристик.

Установлены соответствия между математическими описаниями электромагнитных процессов в трехфазной линии электропередач, гидравлическими и теплогидравлическими процессами в трубопроводах водо- и газоснабжающих систем, которые приводят к общей форме

$$-\frac{\partial}{\partial x} \begin{bmatrix} \bar{i} \\ \bar{u} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \kappa_i & g \\ r & \kappa_u \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{i} \\ \bar{u} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \kappa_i^z & c \\ L & \kappa_u^z \end{bmatrix} \frac{\partial}{\partial t} \begin{bmatrix} \bar{i} \\ \bar{u} \end{bmatrix} . \quad (10)$$

Такое описание в отличие от традиционного описания длинной линии предполагает наличие матричных коэффициентов κ_i , κ_i^z , κ_u , κ_u^z и векторного представления переменных \bar{i} , \bar{u} . Размерности векторов \bar{i} , \bar{u} зависят от количества, учитываемых параметров.

Рассмотрены методы анализа энергетических цепей с сосредоточенными и распределенными параметрами, связанные с методами контурных токов и узловых потенциалов. Отмечено, что особенностью энергетической цепи с распределенными параметрами является то, что последовательные переменные на границах элемента не равны, т.е.

$$\bar{i}_j(0) \neq \bar{i}_j(L_j), \quad j = \overline{1, n} . \quad (11)$$

Это объясняется тем, что в элементе по пространственной координате происходит перераспределение энергии между \bar{i}_j и \bar{u}_j . При этом мощности на границах элемента равны, т.е.

$$\bar{P}_j(0) = \bar{P}_j(L_j), \quad j = \overline{1, n} . \quad (12)$$

где

$$\begin{aligned} \bar{P}_j(0) &= \bar{u}_j(0) \bar{i}_j(0) ; \quad \bar{P}_j(L_j) = \bar{u}_j(L_j) \bar{i}_j(L_j) ; \\ \bar{u}_j(0) &\neq \bar{u}_j(L_j) ; \quad \bar{i}_j(0) \neq \bar{i}_j(L_j) . \end{aligned}$$

Поэтому не всегда возможно использовать метод контурных токов в энергетических цепях с распределенными параметрами.

При моделировании магистральных энергетических систем применены блочные численные методы, базирующиеся на локально-интегральных преобразованиях.

В третьей главе "Моделирование режимов работы городских газовых сетей" обсуждаются особенности структуры городской газовой сети. Отмечается, что распределительная сеть отличается от магистральных газопроводов малой протяженностью и отсутствием в ней активных элементов таких, напри-

мер, как газоперекачивающие агрегаты. В результате исследований переходных процессов в ГТС выяснилось, что они протекают достаточно быстро и имеют аperiodический характер при стабильном температурном режиме работы сети является стабильным.

В качестве математической модели течения газа в трубах ГТС была взята система уравнений газовой динамики, описывающая стационарные неизотермические процессы.

$$-\frac{d\rho v}{dx} = \frac{4m^*}{D}; \quad (13)$$

$$\frac{d}{dx}(\rho + \rho v^2) = -\rho(g \sin \gamma + \frac{\lambda v |v|}{2D}); \quad (14)$$

$$\frac{d}{dx}(\rho v (\epsilon + \frac{p}{\rho})) = \frac{4\alpha}{D}(T_H - T) - \rho v g \cdot \sin \gamma - \frac{4m^*}{D}(\epsilon + \frac{p}{\rho}); \quad (15)$$

где x и t - пространственная и временная координаты; $\rho(x,t)$ - плотность газа; $v(x,t)$ - скорость движения; $p(x,t)$ - давление; $T(x,t)$ - температура газа; T_H - температура грунта на поверхности трубы; m^* - распределенный отток массы газа через боковую поверхность, приходящийся на единицу площади трубы в единицу времени; D - внутренний диаметр трубы; g - ускорение свободного падения; λ - коэффициент гидравлического сопротивления; α - коэффициент теплопередачи; $\gamma(x)$ - угол возвышения трубы над горизонтом; $\epsilon(x,t)$ - полная энергия единицы массы газа.

Если газовый поток m -й трубы вблизи узла с номером j характеризуется параметрами M_m , ρ_m , T_m , то балансовые соотношения в j -м узле можно представить следующей системой алгебраических уравнений:

$$\sum_{m \in Y_j} M_m + M_{*j} = \sum_{m \in Y_j} M_m; \\ \sum_{m \in Y_j} M_m T_m + M_{*j} T_{*j} = \sum_{m \in Y_j} M_m T_m, \quad (16)$$

причем

$$\begin{aligned} \rho_m &= \tilde{\rho}_j, & \text{для всех } Y_j^+, m \in Y_j^+; \\ T_m &= \tilde{T}_j, & \text{для всех } m \in Y_j^-; \\ T_{*j} &= \tilde{T}_j, & \text{для всех } M_{*j} < 0. \end{aligned}$$

где Y_j^+ и Y_j^- - множества номеров элементов соответственно отдающих и потребляющих газ в j -м узле; $\tilde{\rho}_j$ и \tilde{T}_j - узловые давление и температура газа. В случае $M_{*j} > 0$ параметры M_{*j} и T_{*j} характеризуют массу и энергию газа, поступающий в граничный узел от источника. При $M_{*j} < 0$ параметр M_{*j} определяет массу газа, покидающего граничный узел.

На основе математической модели осуществлена постановка и решение задач диспетчерского контроля режима ГТС с учетом измеренных данных, содержащих значения давлений, температур и объемы газа в узлах потребления и поступления. Такая задача ставится как оптимизационная с целевой функцией

$$\sum_{\partial \in Y_{гр}} \left[\alpha_p \left(\frac{\rho_{\partial} - \rho_{\partial}^*}{\rho_n} \right)^2 + \alpha_n \left(\frac{M_{\partial} - M_{\partial}^*}{M_n} \right)^2 \right] \rightarrow \min, \quad (17)$$

где ρ_{∂} и M_{∂} определяются системой уравнений (13)-(16); ρ_{∂}^* и M_{∂}^* - измеренные значения давления и расхода в граничных узлах, образующих множество $Y_{гр}$; $\alpha_p, \rho_n, \alpha_n, M_n$ - весовые коэффициенты, нормализующие соответствующие слагаемые.

Разработаны алгоритмы и реализован комплекс программ GGS, обеспечивающий практическое решение задач контроля режимов ГТС на ПЭВМ.

Исследования, проведенные с учетом реальных данных, доказали возможность фильтрации случайных и грубых погрешностей в измеренных значениях давлений и массовых расходов, а также получения сбалансированных оценок объемов поставок.

В заключении приведены основные выводы по диссертационной работе.

В приложениях приводятся примеры решения задач контроля и моделирования неизотермического нестационарного режима

работы городской газовой сети; программы комплекса GGS; проведен акт внедрения разработанного комплекса программ.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

1. В базе обобщенных переменных разработана структура математической модели, предназначенной для использования в системе автоматизированного оперативного управления магистральными энергосистемами.

2. На базе энергетических аналогий получены математические зависимости, моделирующие элементы магистральных энергетических систем.

3. Модифицированы методы контурных токов и узловых потенциалов для математических моделей энергетических цепей с распределенными параметрами, записанных для обобщенных последовательных и параллельных переменных.

4. С использованием предложенной математической модели на основе единого подхода сформулированы задачи диспетчерского управления магистральными энергетическими системами, а именно: контроля, прогнозирования и коррекции режима работы.

5. Разработан комплекс программ GGS, предназначенный для решения задач контроля режимов работы городской газовой сети. Комплекс программ позволяет осуществлять фильтрацию случайных погрешностей в измерениях и получать сбалансированные оценки объемов поступления и потребления газа.

6. Комплекс GGS внедрен в ПО "Киевгаз" для проведения исследований при создании информационно-измерительной системы газовой сети г.Киева.

Основные результаты диссертационной работы опубликованы в следующих работах:

1. Саух С.Е., Люшенко Л.А. Обобщенные переменные в энергетических цепях с сосредоточенными параметрами. / Теоретическая электротехника. - 1995. - Вып. N 52. - С. 222-229.

2. Люшенко Л.А. Разработка обобщенной математической модели магистральных энергосистем. / Методы и средства компьютерного моделирования. - Киев: Ин-т проблем моделирования в энергетике НАН Украины. - 1995. - С.21-23

3. Береговенко Г.Я., Люшенко Л.А. Локально-интегральные преобразования систем обыкновенных дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами. / Киев: Ин-т проблем моделирования в энергетике НАН Украины. - 1995. - Деп. в УкрИНТИИ N 727-Ук 95.

4. Люшенко Л.А. Локально-интегральные преобразования систем обыкновенных дифференциальных уравнений с переменными коэффициентами. / Киев: Ин-т проблем моделирования в энергетике НАН Украины. - 1995. - Деп. в УкрИНТИИ N 726 - Ук 95.

5. Люшенко Л.А. Применение метода узловых потенциалов к анализу энергетических цепей с распределенными параметрами. / Киев: Ин-т проблем моделирования в энергетике НАН Украины. - 1995. - Деп. в УкрИНТИИ N 728 - Ук 95.

В работе [1] автору принадлежит реализация теоретических положений при решении практических задач.

В работе [3] автору принадлежит разработка алгоритмов и их программная реализация.

Lyushenko L.A. Development of the mathematical models of power main line systems for on-line control automatization.

Theses for the candidate's degree of engineering by speciality 05.13.02 - mathematical simulation in scientific research, Institute Of Simulation Problems In Power Engineering, Ukrainian National Academy of Sciences, Kiev, 1995.

The generalized mathematical model for the operation regimes of power main line systems are proposed. On the basis of the model are formulated generalized problems on on-line control. The "GGS" pre-programmed package are intended for on-line control of the city gas system. "GGS" package are used for research purposes in on-line control of the Kiev gas city system design.

Люшенко Л.А. Розробка математичних моделей для автоматизації оперативного управління магістральними енергетичними системами.

Дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.02 - математичне моде-

лювання в наукових дослідженнях , Інститут проблем моделювання в енергетиці НАН України , Київ , 1995.

Запропоновано узагальнений математичний опис режимів роботи магістральних енергетичних систем, на основі якого сформульовані узагальнені задачі оперативного управління. Розроблено комплекс програм GGS для розв'язку задач контролю режимів роботи міських газових мереж .Комплекс GGS був упроваджений в ВО "Київгаз" для проведення досліджень при створенні системи оперативного управління газовою мережою м.Києва.

Ключові слова: математична модель, оперативне управління, магістральні енергосистеми.

444006

ЛНБ ім. В. Стефаниї
АН України

В работе (1) автором предложено математическое моделирование системы управления с обратной связью по состоянию. В работе (2) автором предложено математическое моделирование системы управления с обратной связью по состоянию. В работе (3) автором предложено математическое моделирование системы управления с обратной связью по состоянию.

Кандидат наук, специалист по математическим моделям систем управления. Специальность: инженер по специальности 05.02.01 - математическое моделирование в научных исследованиях. Институт Проблем Математического Инженерства, Украинская Национальная Академия Наук, Киев, 1988.

The generalized mathematical model for the operating regimes of power plant. The system was modeled on the basis of the model of the power plant.

Подписано к печати 21.08.1995 г. Формат 60x84/16
 Бумага офсетная Усл.-печ. лист. Уч.-изд. лист
 Тираж 100. Заказ 360. Бесплатно.

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

