

На правах рукописи

Ермоленко Марина Вячеславовна

**Совершенствование режимов эксплуатации турбоустановок с отборами пара с целью повышения их экономичности и маневренности**

Специальность 05.14.14 — «Тепловые электрические станции, их энергетические системы и агрегаты»

Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2001

Работа выполнена в Санкт-Петербургском государственном техническом университете

- Научный руководитель — Заслуженный деятель науки и техники РФ, академик МИА, докт. техн. наук, проф.  
Иванов В. А.
- Научный консультант — канд. техн. наук, проф.  
*Корень В. М.*
- Официальные оппоненты: — докт. техн. наук, проф.  
*Боровков В. М.*  
— канд. техн. наук,  
*Кутахов А. Г.*
- Ведущая организация — АО «Ленэнерго» (Санкт-Петербург)

Защита состоится « 25 » декабря 2001 года в 16<sup>00</sup> часов на заседании диссертационного совета Д 212.229.04 в Санкт-Петербургском государственном техническом университете по адресу: 195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29., ауд. 411 в ПГК

С диссертацией можно ознакомиться в Фундаментальной библиотеке СПбГТУ.

Автореферат разослан « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2001 года.

Ученый секретарь  
К. Т. Н., доц.

К. А. Григорьев

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность.** Экономический спад производства, характерный для последних десятилетий, стал причиной значительного снижения потребления электроэнергии в промышленности и роста неравномерности графика электрических нагрузок. В ряде крупных энергообъединений регулирование суточных графиков электрической нагрузки невозможно без турбоустановок типа Т и ПТ, работающих по тепловому графику и обладающих ограниченной маневренностью. Привлечение теплофикационных турбоустановок к регулированию графика электрических нагрузок при сохранении заданного отпуска теплоты требует создания эффективной программы управления. Таким образом, совершенствование режимов эксплуатации теплофикационных турбоустановок с целью повышения их экономичности и маневренности при регулировании графиков электрических нагрузок является актуальной задачей.

**Цель диссертационной работы** — разработка программ регулирования электрической мощности теплофикационных турбин, работающих по тепловому графику. Для достижения поставленной цели были проведены исследования статических характеристик экономичности и маневренности турбоустановок типа Т и ПТ. На основе проведенной работы был предложен научно обоснованный критерий определения рациональной последовательности способов разгрузки. Критерий позволил обеспечить минимум расхода топлива при максимально возможной маневренности ТЭЦ, принимающих участие в регулировании электрического графика, чем были достигнуты поставленные цели диссертационной работы.

**Научная новизна** результатов диссертационной работы, по мнению автора, заключается в определении научно обоснованной рациональной последовательности применения известных способов расширения регулировочного диапазона теплофикационных турбоустановок. Впервые получены характеристики экономичности и маневренности теплофикационных турбоустановок в зависимости от температуры наружного воздуха, а также статические характеристики регулирования температуры пара производственного отбора изменением температуры пара перед турбиной.

**Достоверность и обоснованность результатов работы.** Статические характеристики маневренности и экономичности теплофикационных турбин получены автором с использованием апробированных и обоснованных методов математического моделирования энергоблоков ТЭС. Полученные расчётные характеристики подтверждены результатами экспериментов по исследованию отдельных способов расширения регулировочного диапазона, полученными ранее другими авторами.

**Практическую ценность работы** представляет предложенная автором программа регулирования мощности турбоустановки, работающей

по тепловому графику. Особенность программы состоит в возможности ее реализации как на действующих, так и на вновь проектируемых ТЭЦ без реконструкции при минимальных дополнительных затратах. Результаты диссертации составили основу научно-исследовательской работы «Перспективные технологии совершенствования режимов эксплуатации турбин с целью поддержания заданных параметров пара производственных отборов», выполненной в рамках научно-технической программы «Перспективные технологии производства и транспорта тепловой и электрической энергии».

**Автор выносит на защиту:**

1. Рациональную последовательность способов расширения регулировочного диапазона отопительных и промышленно-отопительных ТЭЦ без модернизации тепловой схемы.

2. Критерий определения рациональной последовательности применения способов снижения электрической мощности ТЭЦ при работе по тепловому графику.

3. Зависимость глубины разгрузки теплофикационной турбины по электрической мощности, а также максимального относительного снижения расхода топлива от температуры наружного воздуха.

4. Обоснование возможности участия промышленно-отопительных турбин в регулировании графика электрических нагрузок путем изменения структуры их тепловой схемы с целью увеличения регулировочного диапазона данных турбин при различных способах снижения электрической мощности.

5. Программу регулирования температуры пара производственного отбора турбин типа ПТ, при постоянной тепловой нагрузке.

6. Принципы совершенствования системы регулирования турбоустановок типа ПТ, поддерживающей величину отопительной нагрузки и параметры пара в камере производственного отбора на заданном уровне при регулировании электрического графика нагрузки энергосистемы.

**Апробация работы.** Основные результаты исследований апробированы на научных конференциях:

1. Межвузовская научная конференция «XXVII Неделя науки СПбГТУ», доклад «Оптимизация режимов работы энергоблока ТЭЦ как объекта переменной структуры», Санкт-Петербургский государственный технический университет, 7 — 12 декабря 1998 г.

2. Международный Конгресс «75 лет отечественной теплофикации», доклад «Регулирование турбин с производственными отборами пара в современных условиях», Санкт-Петербург, 25 — 28 мая 1999 г.

3. Межвузовской научная конференция «Проблемы повышения эффективности и надежности систем теплоэнергоснабжения», доклад «Современный подход к проблеме регулирования турбин с производственными отборами пара», Самарский государственный технический университет, 1 — 3 ноября 1999 г.

4. Межвузовская научная конференция «XXIX Неделя науки СПбГТУ», доклад «Регулирование параметров пара в промышленном отборе турбин типа ПТ», Санкт-Петербургский государственный технический университет, 27 ноября — 2 декабря 2000 г.

5. V Всероссийская конференция по проблемам науки и высшей школы «Фундаментальные исследования в технических университетах», доклад «О возможности привлечения турбин типа Т и ПТ к регулированию графика электрических нагрузок», Санкт-Петербургский государственный технический университет, 8 — 9 июня 2001 г.

**Публикации результатов работы.** Основные результаты диссертации отражены в шести публикациях.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, библиографического списка из 39 источников, пяти приложений, включающих таблицы расчетов, уравнения математических моделей турбоустановок. Полный объем диссертации включает 150 страниц, из них 83 — текстовая часть, 32 — графики и иллюстрации, 4 — библиографический список, 27 — приложения.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** определена цель работы — определение рациональной последовательности способов расширения регулировочного диапазона турбоустановок типа Т и ПТ для их привлечения к регулированию графика электрических нагрузок. По мнению автора, данное направление исследований является весьма актуальным в связи с обострением проблемы неравномерности графика электрических нагрузок, причиной которого является экономический спад производства, а также с физическое и моральное старение энергетического оборудования энергосистем России.

Анализ современной базы теоретических и практических исследований по проблеме, представленный **в первой главе**, позволил выявить, что отдельные способы расширения регулировочного диапазона ТЭЦ подробно исследованы и экспериментально обоснованы, но их сочетание, рациональная последовательность их применения и соответствующее снижение расходов топлива исследованы не были. Среди предложенных способов можно выделить режимные мероприятия, реализуемые за счет изменения существующей структуры тепловой схемы ТЭЦ, а также мероприятия, требующие реконструкции. К числу режимных мероприятий можно отнести:

- обвод подогревателей высокого давления (ПВД) по питательной воде вплоть до их отключения по греющему пару;
- обвод сетевых подогревателей (СП) по сетевой воде (способ скользящего противодавления);

- скользящие параметры свежего пара с передачей части тепловой нагрузки на ПВК.

В опубликованных работах ЛПИ, ЦКТИ, ВТИ, ТЭЦ-22, ТЭЦ-17 Ленэнерго, ТЭЦ-20 Мосэнерго, Минскэнерго и др. приведены экспериментальные данные по расширению регулировочного диапазона ТЭЦ с турбинами типа Т. Перечисленные способы различаются по глубине дополнительной разгрузки:

- отключение или обвод ПВД – до  $0,06N_{\text{НОМ}}$ ;
- скользящее противодействие – до  $0,25N_{\text{НОМ}}$ ;
- скользящие параметры свежего пара – до  $0,15N_{\text{НОМ}}$ .

По мнению автора, необходимы более глубокие исследования влияния температуры наружного воздуха на величину регулировочного диапазона электрической мощности турбоустановки и экономичность ТЭЦ. Максимальный эффект достигается при применении всех способов. Между тем, в опубликованных работах отсутствует определение рациональной последовательности применения способов расширения регулировочного диапазона.

Для ТЭЦ промышленно-отопительного типа исследования, направленные на повышение эффективности эксплуатации и маневренности, до сих пор основывались на реконструкции или внедрении малозатратных технологий модернизации. Анализ существующего опыта реконструкции промышленно-отопительных ТЭЦ позволил предложить альтернативный подход к решению проблемы повышения маневренности: **исследование возможности привлечения турбин типа ПТ к регулированию графика электрических нагрузок с помощью применения режимных мероприятий**. Безусловные преимущества мероприятий по изменению структуры тепловой схемы состоят прежде всего в практическом отсутствии затрат на их реализацию, а также немедленный эффект от их внедрения, однако, отрицательным моментом является неизбежное снижение тепловой экономичности. Таким образом, исследование турбин типа ПТ в этом направлении позволяет подтвердить возможность их разгрузки по электрической мощности с сохранением постоянной теплофикационной нагрузки и заданных параметров промышленного отборов и установить рациональную последовательность способов разгрузки.

На основании обзора литературных источников сформулированы направления исследований и задачи диссертационной работы:

- определить последовательность применения способов снижения электрической мощности ТЭЦ отопительного и промышленно-отопительного типа при сохранении заданных потребителем параметров тепловой и промышленной нагрузок;
- определить программу регулирования температуры пара производственного отбора с наибольшей тепловой экономичностью;

- разработать принципы совершенствования системы регулирования турбин типа ПТ для осуществления программы регулирования температуры пара производственного отбора.

**Во второй главе** автором получена зависимость снижения расхода топлива и максимальной глубины разгрузки ТЭЦ по электрической мощности от температуры наружного воздуха и определена рациональная последовательность применения режимных мероприятий с целью максимального снижения электрической мощности теплофикационной турбины при условии сохранения постоянной величины отопительной нагрузки.

Произведены расчетные исследования турбины Т-100/120-12,8 в диапазоне температур наружного воздуха отопительного периода Санкт-Петербурга. С этой целью разработана программа расчета принципиальной тепловой схемы ТЭЦ. Программа реализована с помощью математического пакета Mathcad и включает уравнения тепловых и материальных балансов элементов тепловой схемы и уравнений элементов системы регулирования. Для решения системы уравнений использован следующий метод. Для каждого элемента тепловой схемы  $x_i$  записано нестационарное уравнение в виде:

$$\frac{dx_i}{dt} = f(x_1, x_2, \dots, x_n).$$

Исходными данными для расчетов являются значения расхода пара турбоустановкой, отпускаемой теплоты, а также параметров и расхода пара в производственном отборе. Выбор программы регулирования осуществляется подбором уставок соответствующих регуляторов турбоустановки.

В результате решена система нелинейных дифференциальных уравнений, построен условный переходный процесс, по окончании которого определены параметры нового искомого режима.

Система уравнений дополнена подпрограммой построения процесса расширения пара в проточной части турбины.

Проточная часть турбины представлена отсеками, границами которых являются камеры отборов к регенеративным, сетевым подогревателям. Регулирующие органы турбины — регулирующие клапаны ЦВД и производственного отбора, регулирующие диафрагмы теплофикационных отборов. Расходная характеристика каждого из отсеков определена по формуле Стодолы-Флюгеля.

Регулирующие клапаны и диафрагмы смоделированы по формуле Бендемана:

$$G_k = \frac{\mu_p \cdot F_k \cdot B_0 \cdot p}{\sqrt{R \cdot T}},$$

$$B_0 = \begin{cases} \frac{2 \cdot \chi}{1 - \Pi_k} \cdot \sqrt{-0,09 + 1,09 \cdot \frac{p_1}{p} - \left(\frac{p_1}{p}\right)^2}, & \text{если } \frac{p_1}{p} > \Pi_k, \\ \frac{2 \cdot \chi}{1 - \Pi_k} \cdot \sqrt{-0,09 + 1,09 \cdot \Pi_k - (\Pi_k)^2}, & \text{если } \frac{p_1}{p} \leq \Pi_k. \end{cases}$$

где  $\mu_p$  — коэффициент расхода регулирующего клапана;  $F_k$  — площадь проходного сечения клапана;  $p$ ,  $p_1$  — давление пара, соответственно, перед и клапаном и за ним,  $B_0$  — коэффициент Бендемана;  $\Pi_k$  — газодинамическая функция критического давления;  $R$  — газодинамическая постоянная;  $T$  — термодинамическая температура пара перед регулирующим клапаном.

Камеры отборов описаны уравнением необогреваемого отбора:

$$A \cdot \frac{dp_j}{dt} = G_{j-1} - G_j,$$

$A$  — константа,

$G_{j-1}$ ,  $G_j$  — расходы пара, притекающего и истекающего из объема.

Расход  $G_{aj}$  пара регенеративными и сетевыми подогревателями определяется с помощью уравнения теплового баланса:

$$G_{aj} = \frac{G_{vj} \cdot (h(t_{\text{вых}j}, p_{vj}) - h(t_{\text{вх}j}, p_{vj})) \cdot k_{пj} - \sum G_{др} \cdot (h_{др} - h'_j)}{h_{aj} - h'_j}.$$

Для расчета характеристик теплообменников и подогревателей на переменных режимах использовано соотношение

$$t_{\text{вых}j} = ts(p_j) - (ts(p_j) - t_{\text{вх}j}) \cdot \exp \left[ - \frac{k(G_{vj}) \cdot F_{пj}}{c_{vj} \cdot G_{vj}} \right],$$

где  $t_{\text{вых}j}$ ,  $t_{\text{вх}j}$  — температура нагреваемой воды на выходе и входе в подогреватель;  $p_{vj}$ ,  $G_{vj}$  — давление и расход нагреваемой воды;  $G_{др}$ ,  $h_{др}$  — расход и энтальпия дренажей, сливаемых в подогреватель;  $h_{aj}$ ,  $h'_j$  —



значения энтальпий пара в камере отбора и дренажа в подогревателе;  $k(G_{vj})$  — коэффициент теплопередачи в подогревателе.

$$k(G_{vj}) = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_p} + \frac{\delta_{тр}}{\lambda_{тр}} + \frac{1}{\alpha_{в0}} \cdot \left( \frac{G_{в0}}{G_v} \right)^{0,8}},$$

где  $\alpha_p, \alpha_{в0}$  — коэффициенты теплоотдачи от пара к трубкам поверхности теплообмена и от трубок к нагреваемой воде;  $\delta_{тр}, \lambda_{тр}$  — толщина и коэффициент теплопроводности материала трубок;  $F_{пj}$  — площадь поверхности теплообмена подогревателя;  $c_{vj}$  — удельная теплоемкость нагреваемой воды;  $h(t, p), ts(p)$  — функции для расчета энтальпии воды под давлением и температуры насыщения пара. Индексом “0” отмечены значения переменных на исходном режиме.

Процесс расширения пара в проточной части турбины смоделирован следующим способом. Составлена функция  $H(h1, p1, p2, \eta_{сyx})$  для расчета процесса расширения пара в отдельном отсеке. Исходные данные для программы – давление  $p1$  и энтальпия  $h1$  пара перед отсеком, давление  $p2$  за отсеком и КПД  $\eta_{сyx}$  отсека.

Функция возвращает значения энтальпии  $h2$  и энтропии  $s2$  пара за отсеком. Расчёт энтропии  $s2$  необязателен и производится в программе для вывода графика процесса расширения в турбине в  $h,s$ -диаграмме.

Для известных значений параметров пара перед турбиной и давлений пара перед турбинными отсеками последовательным применением функции  $H(h1, p1, p2, \eta_{сyx})$  рассчитаны значения энтальпии и температуры пара вдоль проточной части турбины.

Таким образом, для каждого исследуемого способа разгрузки в широком диапазоне температур наружного воздуха получены зависимости относительного снижения мощности  $\Delta N_{э}$  турбоустановки от  $\Delta b$  — относительного изменения расхода топлива. Серия расчетных кривых разгрузки теплофикационной турбины с переменной структурой тепловой схемы (на примере режима с максимальной нагрузкой теплофикационных отборов) представлена на рис. 1.

На рис. 2, 3 представлены расчетные зависимости максимального относительного снижения электрической мощности турбоустановки и расхода топлива от температуры наружного воздуха. Указанные характеристики показывают, что с ростом температуры наружного воздуха максимально возможное расширение регулировочного диапазона турбин отопительного и промышленно-отопительного типа и соответствующее ему снижение расхода топлива возрастают в случае применения обвода СП и уменьшаются в случае обвода ПВД.

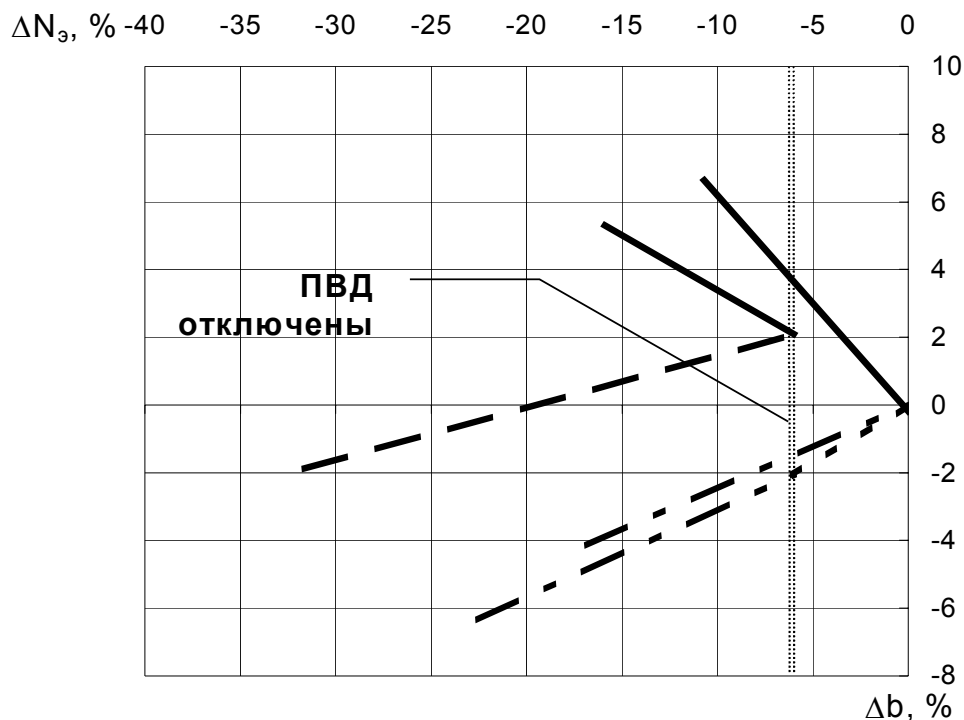


Рис.1. Расчетные зависимости разгрузки турбины Т-100/120-12,8 по электрической мощности с помощью режимных мероприятий (максимальная нагрузка теплофикационных отборов).

обвод сетевых подогревателей — — — — —  
 обвод подогревателей высокого давления .....  
 скользящие начальные параметры пара —————  
 режим максимальной разгрузки - - - - -

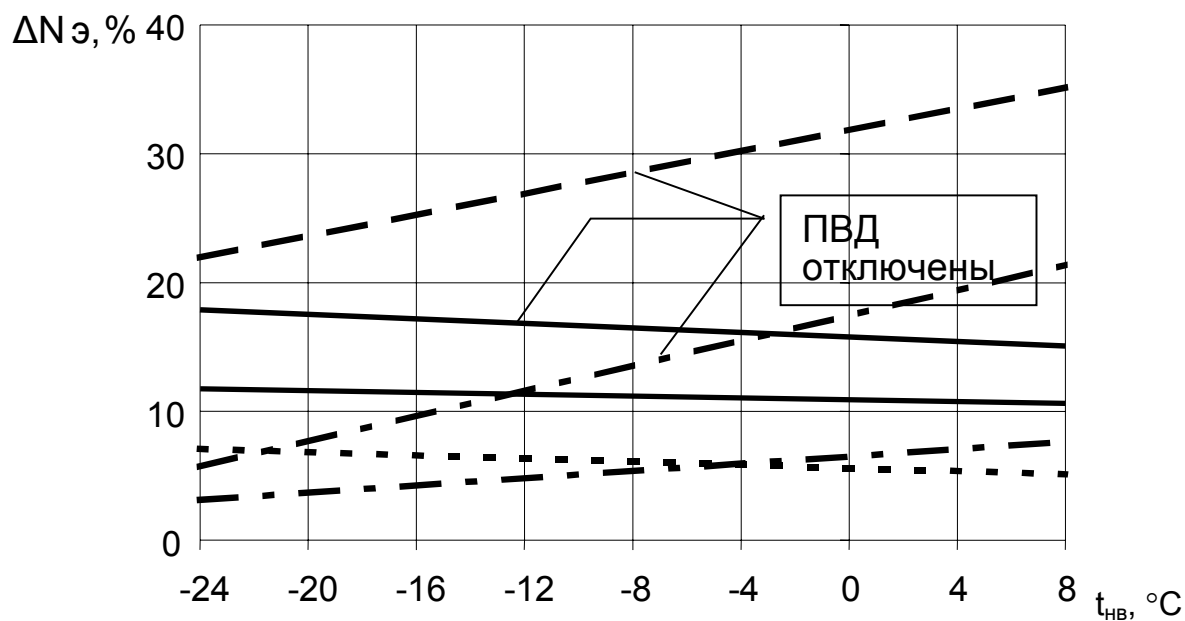


Рис. 2. Влияние температуры наружного воздуха на величину относительного снижения мощности.

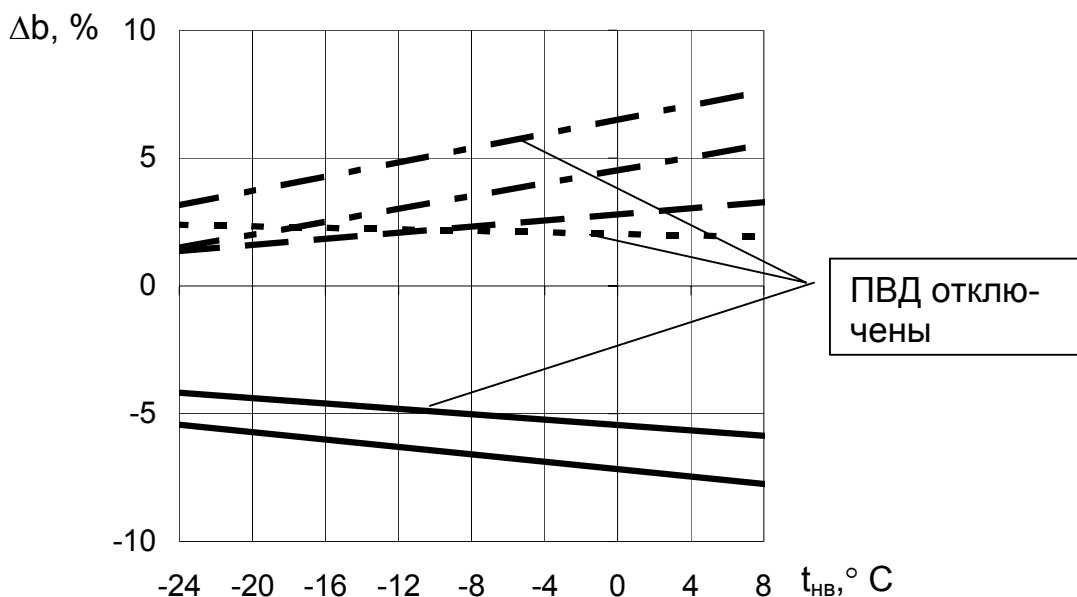
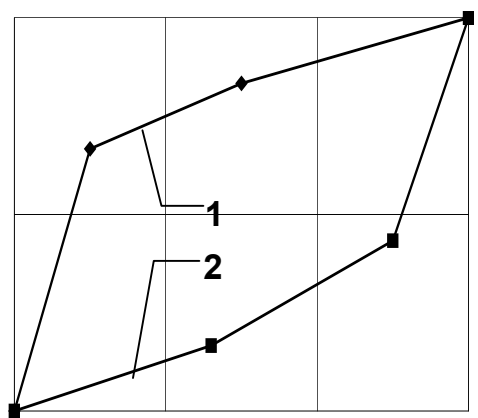


Рис. 3. Влияние температуры наружного воздуха на максимальную величину относительного изменения расхода топлива.

обвод сетевых подогревателей — · — · — · —  
 обвод подогревателей высокого давления ··········  
 скользящие начальные параметры пара —————  
 режим максимальной разгрузки — — — — —

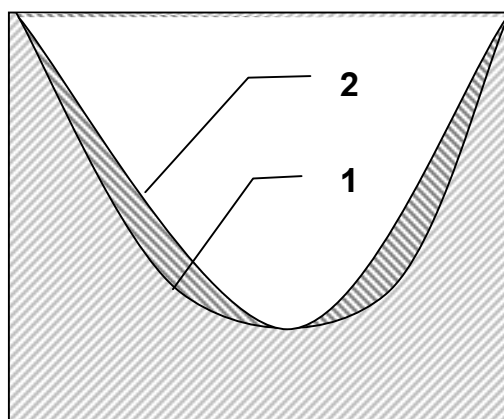
Для определения рациональной последовательности применения рассматриваемых способов разработан следующий критерий. Представим графически две произвольные последовательности применения режимных мероприятий (рис. 4.а).

$\Delta b$



а)

$Q_{тy}$



б)

t

Рис. 4. К определению критерия рационализации последовательности способов разгрузки турбин с регулируемым отбором пара.

Каждая из них в конечном итоге дает одинаковую величину относительного снижения электрической мощности  $\Delta N_3$ . По мнению автора,

целесообразно использовать в качестве критерия приоритетности применения последовательности режимных мероприятий максимум отношения  $\Delta N_{э}/\Delta b$ , т. е. **выстраивать указанную последовательность по принципу возрастания этого отношения**. Наиболее предпочтительной программой разгрузки, из представленных на рис. 4.а, будет кривая 1. С другой стороны, заданный таким образом график электрической нагрузки во временном разрезе интерпретирован в зависимости  $Q_{тy} = Q_{тy}(t)$  (рис. 4.б). Представление расчетных данных в таком виде — суть графическое изменение величины относительного снижения расхода топлива при применении различных последовательностей способов разгрузки. Так как площадь под кривой  $Q_{тy} = Q_{тy}(t)$  соответствует расходу топлива при реализации заданного графика электрической нагрузки в период времени, то разность площадей будет соответствовать объему сэкономленного топлива. Таким образом, экономический эффект, выраженный в дополнительном снижении расхода топлива, в случае применения более рациональной последовательности способов расширения регулировочного диапазона, определен областью, заключенной между кривыми 1 и 2 (рис. 4.б).

На основании результатов расчета определена искомая последовательность способов разгрузки теплофикационной турбины по электрической мощности (рис.5):

- обвод (отключение) ПВД;
- обвод СП.

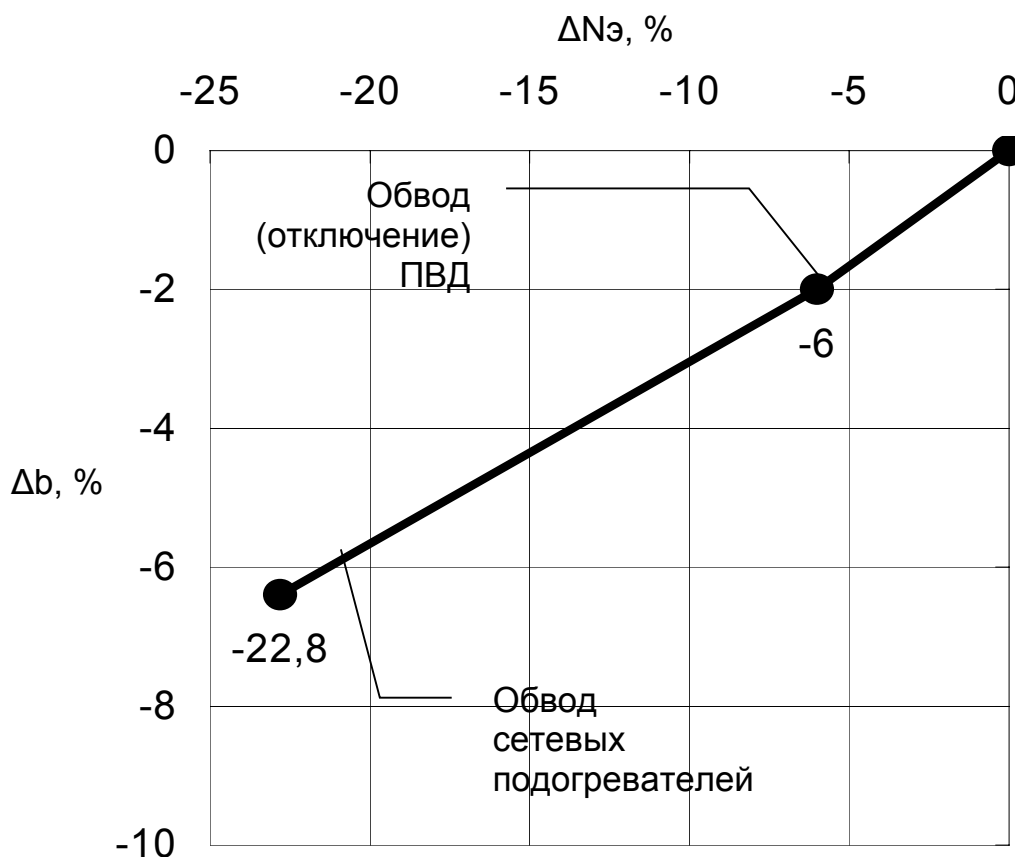


Рис. 5. Рациональная последовательность применения способов расширения регулировочного диапазона теплофикационных турбин (на примере расчетного режима Т-100/120-12,8с максимальной тепловой нагрузкой).

Применение указанной последовательности мероприятий позволяет обеспечить разгрузку турбины на 22,8 % номинальной при максимальной нагрузке теплофикационных отборов.

**В третьей главе** диссертации исследована возможность применения способов расширения регулировочного диапазона изменением структуры тепловой схемы ТЭЦ при условии сохранения промышленно-отопительной нагрузки на заданном уровне, с целью привлечения турбин типа ПТ к регулированию графика электрических нагрузок. Задачи исследований в главе:

1. расчетное обоснование возможности разгрузки турбин данного типа по электрической мощности с помощью известных режимных мероприятий при условии сохранения теплофикационной нагрузки и заданных параметров промышленного отбора;
2. установление рациональной последовательности способов разгрузки с использованием предложенного во второй главе критерия оценки.

Рис. 6, 7 иллюстрируют основные результаты расчетных исследований в третьей главе.

Исследование различных способов расширения регулировочного диапазона турбоустановок промышленно-отопительного типа изменением структуры тепловой схемы позволило оценить глубину разгрузки данных турбин по электрической мощности (рис. 6).

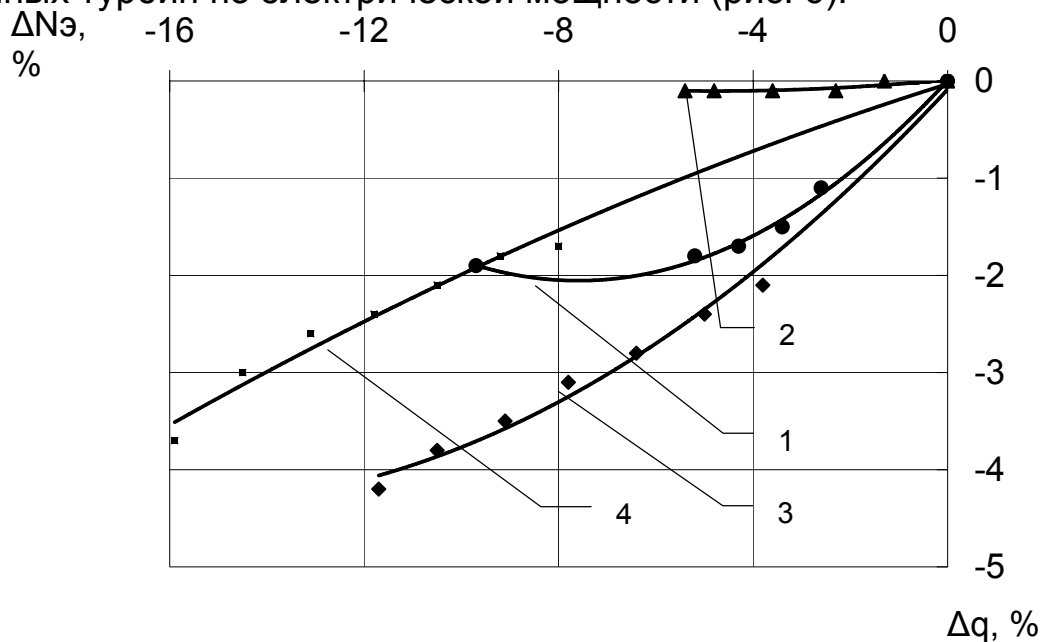


Рис. 6. Влияние режимных мероприятий на относительное изменение расхода теплоты на турбоустановку и снижение электрической мощности: 1 — обвод ПВД; 2 — обвод СП; 3 — сочетание обвода ПВД со скользящими параметрами свежего пара; 4 — сочетание обвода ПВД со скользящими параметрами свежего пара при максимальном обводе сетевых подогревателей.

В результате максимальное снижение электрической мощности от номинальной  $N_{ном}$  составило:

- при обводе ПВД —  $0,097 \cdot N_{ном}$ ;
- при обводе ПВД в сочетании со скользящими параметрами свежего пара —  $0,117 \cdot N_{ном}$ ;
- при обводе сетевых подогревателей —  $0,054 \cdot N_{ном}$ .

Рациональная последовательность применения способов снижения электрической мощности ПТ турбин (рис. 7):

- обвод ПВД с одновременным снижением параметров свежего пара;
- обвод СП.

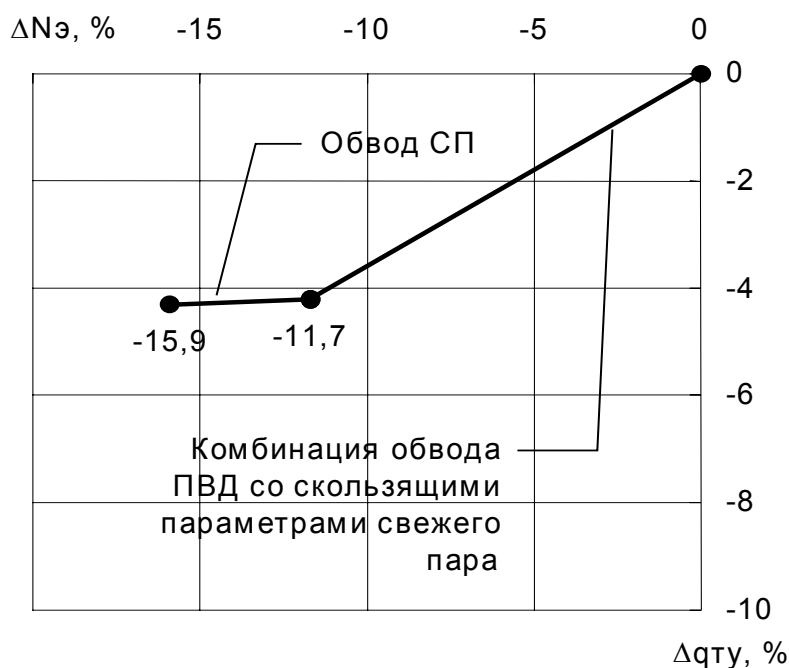


Рис. 7. Рациональная последовательность применения способов расширения регулировочного диапазона турбин промышленно-отопительного типа (на примере ПТ-50/60-12,8).

Максимальное снижение электрической мощности турбины типа ПТ при постоянном отпуске теплоты и заданных параметрах пара производственного отбора при реализации указанной последовательности режимных мероприятий составляет 15,9 %.

В четвертой главе автором предложены основные принципы решения проблемы одновременного независимого регулирования температуры и давления пара производственных отборов промышленно-отопительных ПТУ.

Определено влияние программы регулирования давления свежего пара на величину относительного изменения начальной температуры пара и пара производственного отбора, а также на величину относительного изменения расхода теплоты на турбоустановку. Расчеты, выполненные с помощью пакета Mathcad, показали, что применение программы скользящего давления при снижении электрической мощности до значения  $0,6 \cdot N_3^{\text{НОМ}}$  увеличивает температуру пара производственного отбора на  $74^\circ\text{C}$ , а при дроссельном парораспределении происходит ее увеличение на  $48^\circ\text{C}$  (рис. 8).

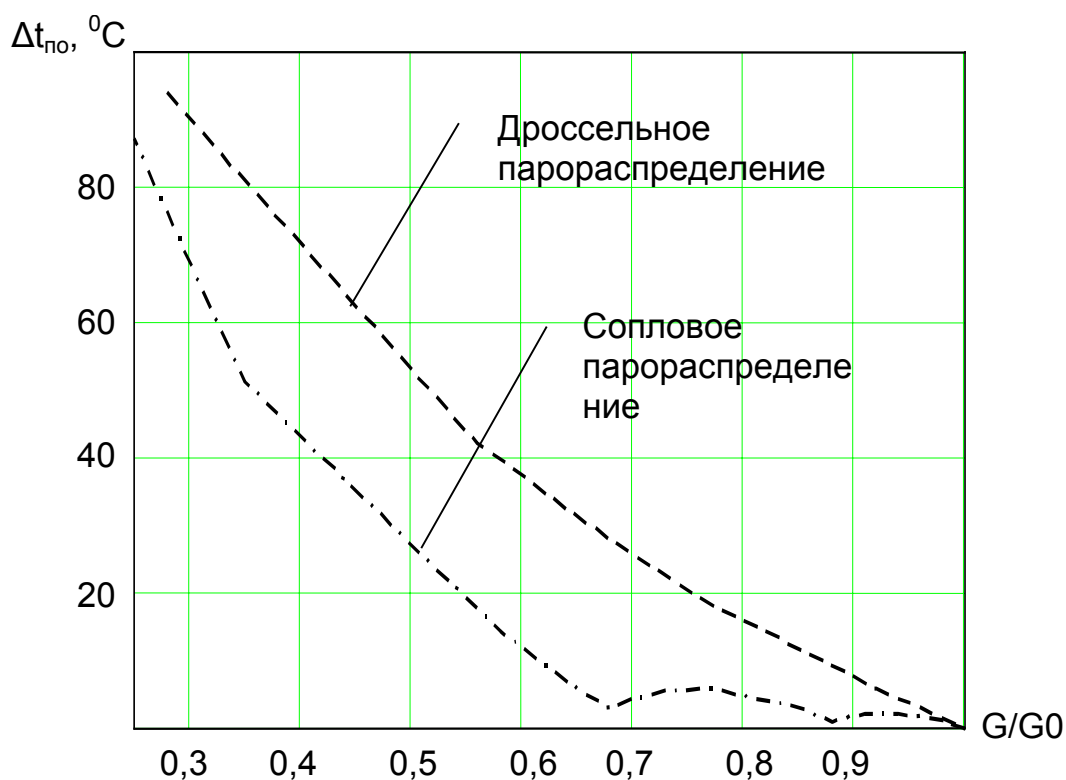


Рис. 8. Зависимость изменения температуры пара  $\Delta t_{\text{по}}$  в промышленном отборе на частичных режимах от типа парораспределения.

Тип парораспределения оказывает на изменение температуры пара производственного отбора на частичных режимах следующее влияние: для режимов с максимальным производственным отбором и при максимально возможной разгрузке турбины по электрической мощности, составляющей  $0,6 \cdot N_3^{\text{НОМ}}$ , максимальное увеличение температуры пара

производственного отбора составило: при сопловом парораспределении 23 °С, при дроссельном парораспределении 48 °С (рис. 9, 10).

Разработанные автором статические характеристики регулирования температуры пара производственного отбора изменением температуры свежего пара могут быть использованы при разработке системы регулирования электрической мощности турбин промышленно-отопительного типа с повышенной экономичностью и маневренностью.



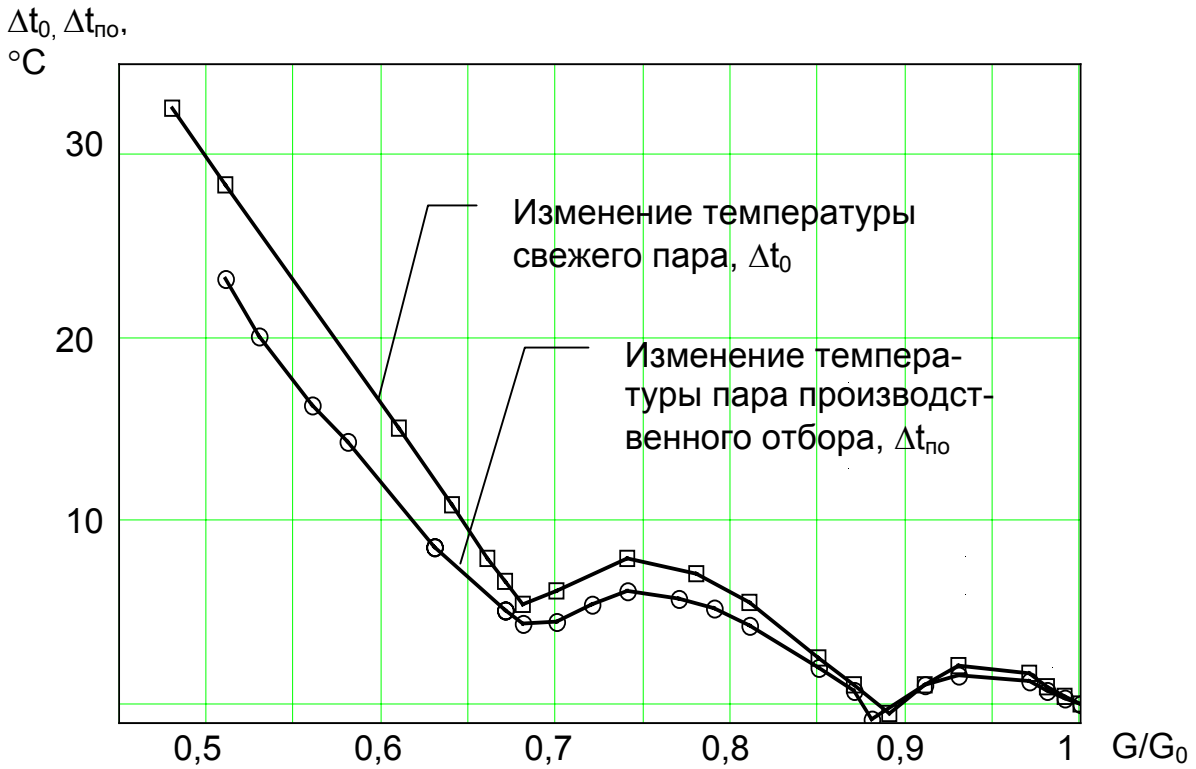


Рис. 9. Изменение температуры свежего пара и пара производственного отбора при сопловом парораспределении.

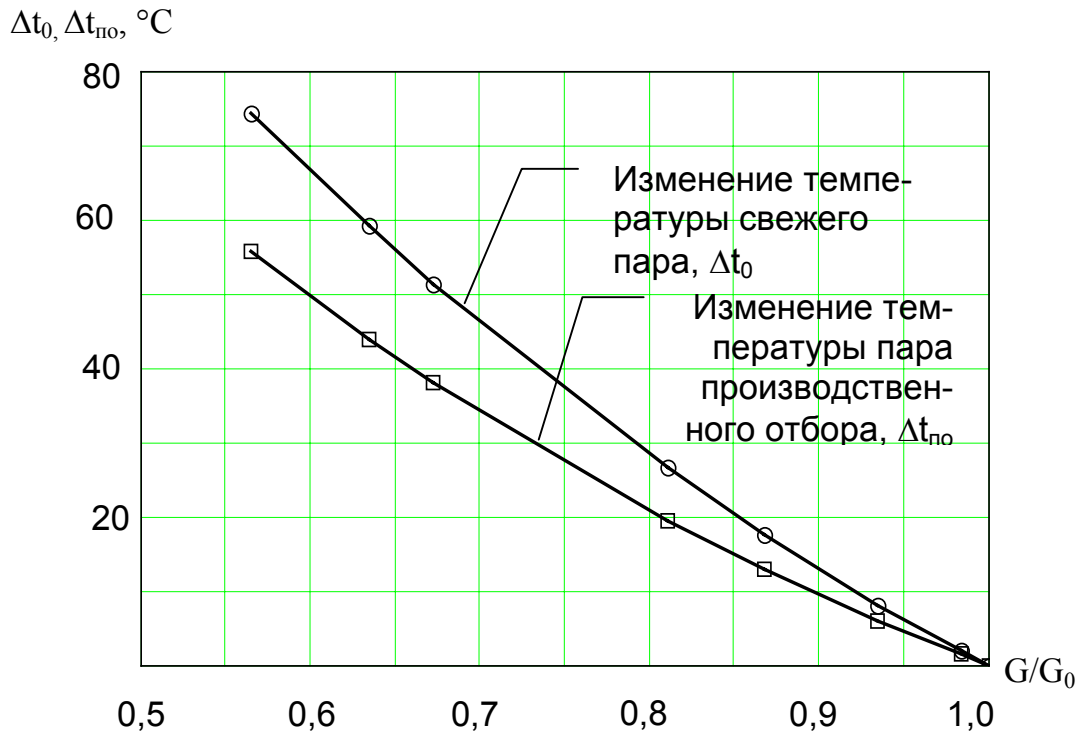


Рис.10. Изменение начальной температуры пара и температуры пара производственного отбора при скользящем давлении свежего пара.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Впервые предложен критерий определения рациональной последовательности режимных мероприятий по электрической разгрузке отопительных ТЭЦ с сохранением постоянного отпуска теплоты.

2. Обоснована рациональная последовательность применения способов расширения регулировочного диапазона при разгрузке отопительной и промышленно-отопительной ТЭЦ по электрической мощности с постоянным отпуском теплоты и параметрами пара производственного отбора.

3. Применение всех режимных мероприятий увеличивает глубину разгрузки по электрической мощности:

- для турбин типа Т в зависимости от температуры наружного воздуха до 36 % от номинальной;
- для турбин типа ПТ — до 15,9 % при максимальной нагрузке производственного отбора.

4. Предложена принципиальная схема регулирования турбины промышленно-отопительного типа как объекта регулирования электрической и тепловой мощности и параметров пара производственного отбора.

5. Разработаны статические характеристики регулирования температуры пара производственного отбора изменением температуры свежего пара.

## СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1. Ермоленко М. В., Иванов В. А. Оптимизация режимов работы энергоблока ТЭЦ как объекта переменной структуры // XXVII Неделя науки СПбГТУ. Ч. I: Материалы межвузовской научной конференции. СПб: Изд-во СПбГТУ, 1999. 124 с.

2. Иванов В. А., Ермоленко М. В. Регулирование турбин с производственными отборами пара в современных условиях // Теплоэнергоэффективные технологии, №2, 1999.

3. Иванов В. А., Ермоленко М. В., Куликова Г. Г. Оптимизация режимов работы энергоблока Т-100/120-13 как объекта с переменной структурой тепловой схемы // Энергетика... (Изв. высших учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). — 1999. — №3.

4. Иванов В. А., Ермоленко М. В. Современный подход к проблеме регулирования турбин с производственными отборами пара // Сб.: Проблемы повышения эффективности и надежности систем теплоснабжения. Материалы межвузовской научной конференции. Самара. — 1999.

5. Ермоленко М. В., Иванов В. А. Регулирование параметров пара в промышленном отборе турбин типа ПТ // XXIX Неделя науки СПбГТУ, Ч. II: Материалы межвузовской научной конференции. СПб: Изд-во СПбГТУ, 2000. 101 с.

6. Ермоленко М. В., Иванов В. А., Корень В. М. О возможности привлечения турбин типа Т и ПТ к регулированию графика электрических нагрузок // Фундаментальные исследования в университетах: Материалы V Всероссийской конференции по проблемам науки и высшей школы. СПб: Изд-во СПбГТУ, 2001. 342 с.