

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР

ЛЕНИНГРАДСКИЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
имени В. И. УЛЬЯНОВА (ЛЕНИНА)

доцент, кандидат технических наук
К. В. БУЛГАКОВ

ТЕПЛОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ
В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ
СССР

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Ленинград
1960

165334

ЦЕНТРАЛЬНАЯ НАУЧНАЯ
БИБЛИОТЕКА
А. Н. Киргизской ССР

Настоящая работа имеет целью дать методику определения оптимальных параметров и структуры теплоэлектрических станций (ТЭЦ), проектируемых в соответствии с семилетним планом и для последующих этапов развития народного хозяйства Советского Союза.

Проблема определения оптимальных параметров и структуры теплоэлектрических станций является сложной проблемой, охватывающей целый комплекс технических и экономических вопросов.

К параметрам ТЭЦ относятся, в первую очередь, основные количественные показатели энергооборудования станции и ее работы, в частности — тепловые и электрические нагрузки станции, годовые количества отпускаемой с ТЭЦ тепловой и электрической энергии, номинальная мощность и число генераторных агрегатов (или суммарная установленная мощность ТЭЦ в целом), номинальная паропроизводительность и число котельных агрегатов.

Под структурой ТЭЦ понимается основная характеристика качественных показателей энергооборудования и экономичности работы ТЭЦ, в частности — термодинамический цикл работы станции и качественные параметры рабочего тела, энергетические типы и характеристики генераторных и котельных агрегатов, теплофикационная (при комбинированном энергопроизводстве) и конденсационная (при раздельном энергопроизводстве) мощности агрегатов и ТЭЦ в целом, годовой отпуск теплофикационной и конденсационной электроэнергии от ТЭЦ, годовой отпуск тепла потребителям турбинами ТЭЦ и котельными агрегатами, характеристика и расход топлива на ТЭЦ, принципиальные энергетические, т. е. тепловая и электрическая, схемы ТЭЦ и к. п. д. станции.

Ввиду наличия взаимных связей теплоэлектрических станций с потребителями тепловой и электрической энергии и районной энергоснабжающей системой, в составе которой, в качестве районных, или, в связи с которой, в качестве местных, такие станции работают, основные вопросы теплоэлектрических станций должны решаться совместно с соответствующими вопросами потребления энергии (энергопотребляющего

района или отдельного объекта), а также с вопросами районной энергоснабжающей системы.

При этом теплофикация, т. е. централизованное теплоснабжение от ТЭЦ, при комбинированном производстве теплофикационной электроэнергии и тепла, во многих случаях оказывается наиболее эффективной только в сочетании с другими способами теплоснабжения рассматриваемых потребителей.

Оптимальные параметры и структура теплоэлектрических станций, определяемые в условиях проектирования, должны соответствовать наиболее рациональному энергоснабжению рассматриваемых потребителей, а также (главным образом для районных ТЭЦ) наиболее рациональным параметрам и структуре районной энергоснабжающей системы для заданного этапа развития народного хозяйства.

Такие параметры и структура ТЭЦ должны удовлетворять требованиям народного хозяйства в отношении наиболее экономичного использования всей совокупности народнохозяйственных ресурсов в рассматриваемом комплексе теплоэлектрических станций, потребителей энергии и энергоснабжающей системы, включая как топливо, так и металлозатраты, строительные материалы, трудовые затраты и т. п., а также в отношении сроков и темпов строительства, санитарно-гигиенических и других условий.

Правильное решение данной проблемы имеет огромное значение для советского народного хозяйства, в особенности в настоящее время, являющееся решающим этапом в осуществлении сплошной электрификации страны. Последняя обуславливается необходимостью в исторически кратчайший срок решить основную экономическую задачу СССР — догнать и перегнать наиболее развитые капиталистические страны по производству продукции, в том числе и энергии, на душу населения и вызывает огромное увеличение соответствующих материальных, трудовых и денежных затрат.

Тем не менее до настоящего времени еще не имеется надлежащей методики определения оптимальных параметров и структуры проектируемых теплоэлектрических станций.

В выполненных до настоящего времени другими авторами и их коллективами работах, а также при практикуемом проектировании станций, рассматриваются только те или другие отдельные вопросы данной комплексной проблемы или только отдельные сочетания таких вопросов.

Таким образом настоящая работа является первой попыткой решения данной проблемы в общем виде, т. е. разработки

методики определения оптимальных параметров и структуры проектируемых теплоэлектрических станций.

В соответствии с целью настоящей работы, последняя состоит из следующих разделов:

1) современные теплоэлектрические станции и постановка проблемы оптимальных параметров и структуры ТЭЦ;

2) исходные методы для составления и выбора вариантов энергетических установок;

3) предлагаемая методика решения проблемы оптимальных параметров и структуры теплоэлектрических станций в энергетическом хозяйстве СССР;

4) возможная эффективность применения предлагаемой методики определения оптимальных параметров и структуры ТЭЦ.

В первом разделе диссертации, на основе анализа современного состояния теплофикации и параметров и структуры современных ТЭЦ, обоснована необходимость определения оптимальных параметров и структуры теплоэлектрических станций, вопреки практикуемому проектированию ТЭЦ, путем последовательного составления и выбора соответствующих вариантов и выявлен комплекс основных вопросов, подлежащих рассмотрению при решении проблемы.

Второй раздел предлагает разработанные автором новые исходные методы для составления и выбора параметров энергетических установок (метод комплексного рассмотрения и метод энергоэкономических критериев) взамен различных применяемых методов, не обеспечивающих во многих случаях рационального решения данной задачи.

В третьем разделе на основе анализа основных вопросов проблемы и возможных вариантов их решения как для местных, так и для районных ТЭЦ, разработана предлагаемая автором методика определения оптимальных параметров и структуры теплоэлектрических станций.

При этом, в отличие от работ других авторов и практикуемого проектирования ТЭЦ, предлагается соответствующее уменьшение тепловых и, следовательно, электрических нагрузок таких станций за счет применения других энергетических установок, в первую очередь, — использующих вторичные энергетические ресурсы потребителей и применяющих тепловые насосы и трансформаторы. Выбор оптимальных параметров и структуры ТЭЦ предлагается производить по оптимальному варианту энергоснабжения рассматриваемого комплекса потребителей.

Четвертый раздел намечает энергоснабжающие установки и энергооборудование ТЭЦ, целесообразные для ближайших этапов развития советского народного хозяйства, и подсчитывает приближенно возможную экономическую эффективность применения методики определения оптимальных параметров и структуры теплоэлектрических станций, а именно — значительное уменьшение первоначальных затрат на ТЭЦ и большую экономию топлива.

Раздел I

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕПЛОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ И ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ И СТРУКТУРЫ ТЭЦ

1. Современные теплоэлектрические станции

Основным назначением теплоэлектрических станций является комбинированное энергопроизводство, т. е. выработка электроэнергии на базе централизованного теплоснабжения потребителей, называемого теплофикацией. Получаемая при таком комбинированном энергопроизводстве теплофикационная электроэнергия требует в несколько раз меньшего расхода топлива, чем конденсационная электроэнергия, получаемая при раздельном производстве электрической энергии и тепла.

Поэтому ТЭЦ, вырабатывающие только теплофикационную электроэнергию, являются наиболее экономично работающими тепловыми электростанциями.

Анализ современного состояния теплофикации и параметров и структуры советских и зарубежных ТЭЦ выявляет крупные качественные и количественные достижения Советского Союза в области теплофикации, поставившие его на первое место в мире в этом отношении.

По развитию теплофикации, а именно по количеству отпускаемого тепла от ТЭЦ и по суммарной мощности теплоэлектрических станций, Советский Союз далеко опережает все другие страны.

Так, к концу пятой пятилетки суммарная мощность советских ТЭЦ увеличилась до $11 \cdot 10^6$ квт, суммарный годовой отпуск тепла от ТЭЦ составил $155 \cdot 10^6$ Мккал. Суммарное годовое производство теплофикационной электроэнергии возросло до $16,5 \cdot 10^9$ квтч.

При этом суммарная мощность районных ТЭЦ составила около $5,4 \cdot 10^6$ квт, суммарная мощность местных ТЭЦ — около

$5,6 \cdot 10^6$ квт, в том числе на промышленных ТЭЦ — около $4,5 \cdot 10^6$ квт.

По техническому совершенству энергооборудования современные советские ТЭЦ не уступают зарубежным теплоэлектрическим станциям.

Тем не менее, наряду с крупными успехами в развитии советской теплофикации и проектировании ТЭЦ имеются еще существенные недостатки, завышающие первоначальные затраты на ТЭЦ и другие теплоснабжающие установки и обуславливающие недостаточную экономичность их работы, вызывая излишние расходы топлива:

1) развитие теплофикации еще отстает главным образом из-за задержки строительства тепловых сетей, от роста промышленности и нового коммунально-жилищного строительства, что приводит к вынужденному сооружению малоэкономических промышленных и отопительных котельных;

2) вследствие этого имеет место недостаточный (не более 45%) охват теплофикацией подготовленных к этому охвату потребителей тепла;

3) качественные показатели теплофикации остаются пока невысокими, причем выработка теплофикационной электроэнергии совершенно недостаточна и не соответствует установленной мощности ТЭЦ, так как значительная часть тепла отпускается не теплофикационными турбинами, а котельными агрегатами ТЭЦ через редуционно-охладительные установки или же получается от теплоснабжающих котельных.

4) расчетные тепловые нагрузки ТЭЦ в большинстве случаев являются завышенными сравнительно с фактическими и тем более сравнительно с оптимальными, что объясняется, в основном, отсутствием должного рассмотрения при проектировании ТЭЦ других возможных способов покрытия тепловых нагрузок и схем энергоснабжения потребителей;

5) до настоящего времени в подавляющем большинстве случаев почти не используются на местных ТЭЦ или в специальных местных энергетических установках вторичные энергоресурсы потребителей, в виде отходящего тепла, получаемого после энергетического обслуживания производственных и других процессов, например в отработавшем производственном паре и отходящих горячих газах промышленных печей, несмотря на то, что такое использование обуславливает большую экономию топлива;

6) до сих пор еще почти не применяются тепловые энергопреобразовывающие установки, в виде тепловых насосов и

трансформаторов, могущие во многих случаях обеспечить более полное и эффективное использование вторичных энергоресурсов, уменьшить тепловые нагрузки ТЭЦ, покрываемые за счет расходов топлива, а также увеличить выработку теплофикационной электроэнергии при замене редуционных установок на ТЭЦ тепловыми трансформаторами;

7) выбор энергетических типов и параметров генераторных агрегатов для ТЭЦ является далеко не всегда правильным, причем наиболее распространенными энергетическими типами теплофикационных турбин являются турбины с одним или преимущественно с двумя регулируемы отборами пара и конденсацией, тогда как более рациональные во многих случаях турбины с противодавлением и турбины с ухудшенным вакуумом применяются только на некоторых немногочисленных ТЭЦ;

8) «конденсационный хвост» (т. е. наибольшая конденсационная мощность, могущая быть генерированной при конденсационном режиме работы, когда отсутствуют внешние тепловые нагрузки турбин) у таких агрегатов с регулируемы отборами пара и конденсацией, является, как правило, завышенным, что удорожает агрегаты и снижает экономичность их работы;

9) несмотря на худшие условия топливоснабжения и водоснабжения для большинства районных и, тем более, местных ТЭЦ, сравнительно с районными конденсационными электростанциями (КЭС), подавляющее большинство советских ТЭЦ имеет теплофикационные генераторные агрегаты с конденсационными хвостами и работает в основном по «свободному» графику электрической нагрузки, т. е. вырабатывает значительное количество конденсационной электроэнергии, которая более экономично может быть генерирована на районных КЭС;

10) на советских ТЭЦ еще не применяются котлы-утилизаторы, работающие на отходящих горячих газах промышленных печей, несмотря на то, что такие котлоагрегаты не расходуют топлива и их применение, во многих случаях, обусловило бы наиболее экономичное энергоснабжение от местных ТЭЦ;

11) на местных ТЭЦ небольшой мощности, как правило, применяются паровые турбины с конденсационными хвостами, работающие по регенеративному циклу и только при средних ($p_0 = 29$ ата; $t_0 = 400^\circ\text{C}$) или повышенных ($p_0 = 35$ ата; $t_0 =$

= 435°C) начальных параметрах пара, что обуславливает невысокую экономичность работы таких ТЭЦ;

12) до настоящего времени на советских ТЭЦ еще почти не применяются газовый, парогазовый и ртутно-водяной циклы, хотя применение таких циклов, в особенности на ТЭЦ небольшой мощности, может значительно повысить экономичность их работы;

13) до настоящего времени большинство районных и местных ТЭЦ еще продолжают работать на низкосортных твердых топливах, а не на природном газе или жидком топливе, применение которых снижает первоначальные затраты на ТЭЦ, повышает экономичность их работы и уменьшает загрязненность воздушного бассейна промышленных и коммунальных центров.

Отмеченные выше недостатки ТЭЦ обуславливаются в основном (пп. 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12) недостатками применяемой в подавляющем большинстве случаев методики проектирования. Поэтому только в отдельных случаях параметры и структура ТЭЦ обеспечивают вполне экономичное энергообеспечение потребителей.

2. Постановка проблемы оптимальных параметров и структуры ТЭЦ

Как показано выше, практикуемое до настоящего времени проектирование ТЭЦ не обеспечивает в подавляющем большинстве случаев получения оптимальных параметров и структуры для проектируемых теплоэлектрических станций. При этом наименее удовлетворительно ведется проектирование местных ТЭЦ.

Поэтому необходима разработка методики определения оптимальных параметров и структуры теплоэлектрических станций, которая должна давать возможность правильно решать основные вопросы ТЭЦ в условиях проектирования новых или расширяемых и реконструируемых действующих теплоэлектрических станций как районных, так и местных.

Комплексная проблема определения оптимальных параметров и структуры ТЭЦ допускает варианты решения как отдельных ее вопросов или частей, так и проблемы в целом.

Поэтому в качестве основных требований к решению данной проблемы должны быть приняты следующие.

1. Решение отдельных вопросов и частей проблемы, а также проблемы в целом, должно производиться путем надлежащего составления и выбора соответствующих вариантов.

2. Ввиду отсутствия до настоящего времени достаточно обоснованного и единообразного подхода к составлению и сопоставлению вариантов, причем различные применяемые методы не обеспечивают во многих случаях рационального решения задачи: необходима разработка исходных методов для составления вариантов и выбора оптимального из них.

3. Каждый из составляемых вариантов должен в течение принятого расчетного периода обеспечивать получение одинакового народнохозяйственного эффекта, задаваемого применительно к определенному расчетному уровню развития народного хозяйства.

4. При составлении вариантов необходим надлежащий учет прямых и обратных связей (зависимостей) между рассматриваемыми процессами и установками для правильного определения комплекса вопросов, подлежащих рассмотрению в каждом варианте.

5. Число основных вариантов решения проблемы в целом должно быть минимальным. С этой целью отдельные вопросы каждого из основных вариантов (например, выбор числа и мощности агрегатов установок) следует рассматривать и решать в виде частичных вариантов или подвариантов данного основного варианта, а не в качестве самостоятельных вариантов решения проблемы.

6. При составлении основных вариантов и частичных подвариантов необходимо учитывать особенности вновь проектируемых и расширяемых или реконструируемых местных и районных ТЭЦ.

7. При составлении и сопоставлении вариантов и частичных подвариантов следует учитывать возможные отклонения в течение расчетного периода значений параметров рассматриваемых процессов и установок от их расчетных значений.

8) При составлении и сопоставлении вариантов необходимо учитывать положительное значение для народного хозяйства применения комбинированного энергопроизводства на ТЭЦ, централизации энергообеспечения потребителей и концентрации мощностей на отдельных теплоэлектрических станциях и других энергетических установках.

Комплекс основных вопросов, подлежащих рассмотрению при решении проблемы, обуславливается основными задачами проблемы и наличием непосредственных связей между потреблением энергии, ТЭЦ и районной энергообеспечивающей системой.

Такой комплекс основных вопросов целесообразно подразделить на следующие группы вопросов, решаемые последовательно одна за другой:

а) составление вариантов энергопотребления, тепловых и электрических нагрузок ТЭЦ и энергоснабжения рассматриваемых потребителей;

б) выбор варианта энергоснабжения и определение оптимальных параметров и структуры ТЭЦ.

Отличие параметров тепловых и электрических нагрузок ТЭЦ от соответствующих параметров энергопотребления обусловливается не только наличием потерь в энергетических сетях между ТЭЦ и потребителями, но и возможностями, в рассматриваемых условиях, покрытия энергопотребления также от других энергоснабжающих установок, наряду с ТЭЦ или вместо ТЭЦ.

Энергоснабжающими установками, могущими заменить собою проектируемую ТЭЦ в той или другой части требуемого энергоснабжения потребителей, являются вообще установки, использующие вторичные энергетические ресурсы потребителей, тепловые насосы и трансформаторы, местные или районные теплоснабжающие котельные и другие, местные или районные, электростанции.

Выбор варианта энергоснабжения рассматриваемых потребителей устанавливает оптимальные тепловые и электрические нагрузки и число проектируемых ТЭЦ, на основе которых должны определяться далее другие оптимальные параметры и структура ТЭЦ.

Раздел II

ИСХОДНЫЕ МЕТОДЫ ДЛЯ СОСТАВЛЕНИЯ И ВЫБОРА ВАРИАНТОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

1. Метод комплексного рассмотрения

В качестве исходных методов для составления и сопоставления вариантов решения проблемы в настоящей работе предложены два метода: а) метод комплексного рассмотрения и б) метод энергоэкономических критериев.

В основу обоих методов положено условие получения в каждом из вариантов одинакового народнохозяйственного эффекта применительно к рассматриваемому расчетному уровню развития народного хозяйства,

Метод комплексного рассмотрения определяет комплекс вопросов, подлежащих совместному рассмотрению, а именно—какие вопросы, или факторы, должны рассматриваться с данным вопросом или объектом рассмотрения в каждом из вариантов и в какой мере следует учитывать в получаемых решениях взаимную связь рассматриваемых основных вопросов и соответствующих факторов для последующего уточнения таких решений.

Данный метод применим как на отдельных этапах решения проблемы—для составления частичных подвариантов, так и при решении проблемы в целом—для составления основных вариантов.

Факторы подразделяются на исходные ($\Phi_{и}$) и зависимые ($\Phi_{з}$). Первые являются исходными для объекта рассмотрения (O) и связываются с ним прямыми связями. Зависимыми называются факторы, зависящие от объекта, причем изменения количественных параметров зависимых факторов в ряде случаев влияют на величину соответствующих количественных параметров объекта или исходных факторов.

Подобные зависимые факторы, имеющие обратные связи с объектом или исходными факторами, называются зависимыми обратносвязанными факторами ($\Phi_{зo}$).

На каждом из этапов решения задачи или проблемы должен одновременно рассматриваться только один из основных вопросов, являющийся объектом рассмотрения, вместе с соответствующими исходными и зависимыми факторами. При этом тот или другой вопрос, являющийся объектом рассмотрения на данном этапе решения задачи или проблемы, может служить исходным или зависимым фактором для объекта рассмотрения на другом этапе.

Метод комплексного рассмотрения состоит в следующем.

1. Устанавливаются имеющиеся для данного объекта рассмотрения O исходные факторы $\Phi_{и}$, а также зависящие от него факторы, влияющие на количественные параметры объекта, т. е. зависимые обратносвязанные факторы $\Phi_{зo}$. Зависимые факторы, не имеющие с объектом обратных связей, непосредственных или косвенных (через исходные факторы), рассмотрению не подлежат, как не влияющие на получаемые решения.

2. Определяются максимальные возможные изменения количественных параметров рассматриваемого объекта в за-

зависимости от изменений в возможных пределах количественных параметров соответствующих факторов вида Φ_u и Φ_{zo} :

$$\Delta O_{\max}^{(\Phi_u)} = O_{\max}^{(\Phi_u)} - O_{\min}^{(\Phi_u)}$$

и

$$\Delta O_{\max}^{(\Phi_{zo})} = O_{\max}^{(\Phi_{zo})} - O_{\min}^{(\Phi_{zo})}$$

3. Определяются погрешности (ошибки), получаемые при вычислении количественных параметров рассматриваемого объекта в функции от количественных параметров соответствующих факторов вида Φ_u и Φ_{zo} , вызываемые условными допущениями в определении исходных данных, неточностями в методах расчетов, измерений, построений и т. п. ($\sigma O_{\max}^{(\Phi_u)}$; $\sigma O_{\max}^{(\Phi_{zo})}$).

4. Рассмотрению, совместно с объектом O , подлежат только такие факторы Φ_u и Φ_{zo} , для которых обуславливаемые ими погрешности в определении количественных параметров объекта рассмотрения меньше максимальных возможных изменений количественных параметров последнего в функции от количественных параметров соответствующих факторов, т. е. для которых

$$\Delta O_{\max}^{(\Phi_u)} > \sigma O_{\max}^{(\Phi_u)}$$

и

$$\Delta O_{\max}^{(\Phi_{zo})} > \sigma O_{\max}^{(\Phi_{zo})}$$

Для остальных исходных факторов, имеющихся для данного объекта, принимаются условно некоторые постоянные средние значения, а остальные, в частности — зависимые, факторы из рассмотрения исключаются, т. е. рассмотрение объекта упрощается при сохранении необходимой точности получаемых результатов.

5. После отбора подлежащих рассмотрению факторов, в первую очередь рассматриваются исходные факторы. Затем определяются значения количественных параметров зависимых обратносвязанных факторов и производится соответствующее уточнение количественных параметров объекта рассмотрения, причем, при наличии косвенной обратной связи зависимого фактора с объектом через исходные факторы, сперва уточняются значения соответствующих исходных факторов.

Последовательное уточнение значений количественных параметров объекта и факторов прекращается после l уточнений, если дальнейшее уточнение значений параметров объекта и факторов не превышает по величине соответствующих значений возможных погрешностей, т. е. если

$$\Delta O_l \leq \sigma O,$$

где $\Delta O_l = O_{l+1} - O_l$, причем l и $l+1$ — порядковые номера последовательных уточнений объекта и факторов.

Таким образом уточнение каждого из вариантных решений прекращается после того, как оно перестает влиять на выбор варианта объекта рассмотрения. В подавляющем большинстве случаев оказывается достаточным только одно уточнение значений количественных параметров объекта в функции от того или другого зависимого обратносвязанного фактора ($l=1$).

Расчеты по каждому из составленных вариантов должны охватывать весь расчетный период — от исходного или начального до рассматриваемого конечного или расчетного уровня развития народного хозяйства.

При практикуемом до настоящего времени составлении вариантов обычно не учитываются в должной мере исходные и зависимые обратносвязанные факторы и не производится последующее уточнение количественных параметров объекта рассмотрения, что может обуславливать выбор не наилучшего варианта такого объекта.

Метод комплексного рассмотрения является, по своему целевому назначению, исходным для метода энергоэкономических критериев.

2. Метод энергоэкономических критериев

Данный метод определяет критерии, необходимые для сопоставления и выбора вариантов решения как отдельных вопросов задачи или проблемы, так и последней в целом.

Выбор оптимального, т. е. наиболее отвечающего интересам народного хозяйства, варианта энергетического объекта должен производиться по минимуму суммарных фактических затрат живого и овеществленного труда, выраженных в денежной форме и необходимых для получения за расчетный период заданного народнохозяйственного эффекта, одинакового для всех рассматриваемых вариантов.

Такие суммарные фактические затраты живого и овеществленного труда представляют собою суммарные фактические невозвратимые затраты в виде суммы невозвратимых затрат, обусловленных физическим износом и моральным (техническим) устарением элементов рассматриваемого объекта, и ежегодных прямых расходов или издержек на его работу за весь расчетный период.

При этом название «невозвратимыми» первоначальных затрат на ту часть основных фондов (средств труда), которые утратили в процессе эксплуатации свою потребительскую стоимость, является в известной мере условным, так как такие фонды одновременно передали свою стоимость продукции в виде амортизационных отчислений.

Ежегодные прямые расходы или издержки определяются соответствующей стоимостью оборотных материальных фондов, потребленных в течение года при производстве продукции, и годовыми затратами на заработную плату и также с известной условностью могут быть названы «фактическими невозвратимыми затратами».

Применительно к терминологии других авторов такие суммарные фактические затраты живого и овеществленного труда называются также «суммарными народнохозяйственными издержками» за рассматриваемый период.

Такие суммарные народнохозяйственные издержки должны относиться к рассматриваемой энергетической системе в целом, с учетом возможных связей основных элементов последней с другими элементами народного хозяйства (с топливной промышленностью, транспортом и т. д.).

По предлагаемому методу энергоэкономических критериев для каждого из рассматриваемых вариантов устанавливаются:

а) энергетические критерии, определяющие одинаковый энергетический эффект для всех вариантов, т. е. одинаковое обеспечение качественных и количественных параметров обслуживаемых процессов и одинаковая степень надежности энергетического обслуживания последних в течение расчетного периода;

б) экономические критерии, обусловленные энергетическими критериями, в виде расчетного периода $t_{расч}$ и соответствующей ему экономической характеристики рассматриваемого объекта Z_c , т. е. суммарных фактических невозвратимых затрат;

в) энергоэкономические критерии, а именно — срок выравнивания величин экономических характеристик сравниваемых

вариантов t_a и срок окупаемости превышения полных первоначальных затрат по более дорогому из сравниваемых вариантов за счет ежегодной экономии в средних прямых расходах по тому же варианту $t_{ок}$.

Энергетические критерии и экономический критерий в виде расчетного периода устанавливаются в первую очередь при составлении вариантов по методу комплексного рассмотрения.

Величину расчетного периода, за который определяются энергетические критерии и соответствующие им экономические характеристики сравниваемых вариантов, следует ограничивать экономическим сроком амортизации средств труда, который должен комплексно учитывать как фактор физического износа, так и фактор технического (морального) устарения основных фондов

$$t_{aф} \geq t_{расч} \approx t_{aэк}$$

где $t_{aф}$ — срок средневзвешенной физической амортизации рассматриваемых установок, т. е. обусловленный их физическим износом,

$t_{aэк}$ — экономический срок амортизации установок.

Экономический срок амортизации должен устанавливаться советскими плановыми органами в зависимости от степени совершенства рассматриваемых основных фондов (средств труда) и соответствующих требований народного хозяйства к допустимой продолжительности срока окупаемости $t_{ок доп}$ для установок рассматриваемого типа, т. е.

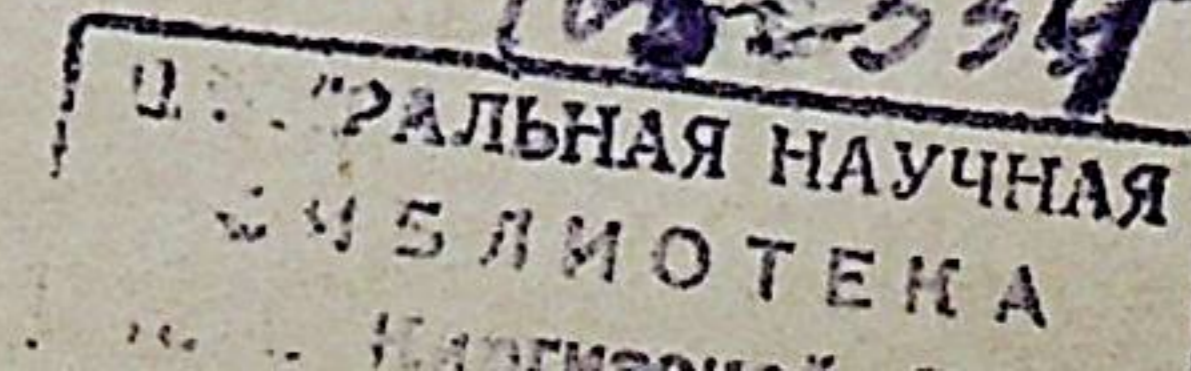
$$t_{aэк} = t_{ок доп}$$

Экономическая характеристика Z_c рассматриваемого объекта определяет для любого года t_1 расчетного периода суммарные фактические невозвратимые затраты в виде суммы невозвратимых первоначальных затрат $\sum K_{нев}$ и суммарных прямых расходов $\sum I_{пр}$ по каждому из рассматриваемых вариантов

$$\begin{aligned} Z_{ct_1} &= K_0 + \sum_{t=1}^{t=t_1} I_{ат} + \sum_{t=1}^{t=t_1} I_{прt} = \sum_{t=0}^{t=t_1} K_{невt} + \sum_{t=1}^{t=t_1} I_{прt} = \\ &= K_{невt_1} + \sum_{t=1}^{t=t_1} I_{прt}, \end{aligned}$$

где

K_0 — предварительные первоначальные (капитальные) затраты, произведенные до



начала строительства объекта (на изыскание, проектирование и т. д.);

$$I_a = \frac{K_{перв}}{t_{расч}} \text{ — годовые амортизационные отчисления;}$$

$$K_{перв} = K - K_0 \text{ — первоначальные (капитальные) затраты на рассматриваемый объект с начала строительства;}$$

$$K = K_0 + K_{перв} \text{ — полные первоначальные (капитальные) затраты по рассматриваемому варианту;}$$

$$K_{нев t} \text{ — невозвратимые первоначальные (капитальные) затраты за год с индексом } t; \text{ для } t = 0 \text{ } K_{нев} = K_0; \text{ для } t = t_{расч} \text{ } K_{нев t_{расч}} = K;$$

$$I_{пр t} \text{ — прямые (эксплуатационные) расходы или издержки за год с индексом } t.$$

Для конечного года расчетного периода ($t = t_{расч}$) значение экономической характеристики может быть выражено на основании вышеприведенной формулы следующим образом:

$$Z_{ct_{расч}} = \sum_{t=0}^{t=t_{расч}} K_{нев t} + \sum_{t=1}^{t=t_{расч}} I_{пр t} = K + \sum_{t=1}^{t=t_{расч}} I_{пр t} =$$

$$= K + I_{пр ср} t_{расч},$$

где $I_{пр ср}$ — средние за расчетный период прямые годовые расходы

$$I_{пр ср} = \frac{\sum_{t=1}^{t=t_{расч}} I_{пр t}}{t_{расч}}.$$

Если годовые прямые расходы $I_{пр t}$ значительно изменяются по величине за расчетный период, например, при расширении рассматриваемого объекта в течение этого периода, т. е. если $I_{пр t} \neq I_{пр ср}$, то целесообразно выбор варианта методом энергоэкономических критериев производить графически, построив для этого на общем графике соответствующие экономические характеристики сравниваемых вариантов за расчетный период.

При графическом построении экономических характеристик $\sum_{t=1}^{t=t_{расч}} I_{пр t}$ определяется непосредственно, как один из компонентов экономической характеристики для последнего года расчетного периода.

При построении экономической характеристики необходимо учитывать принятую очередность во времени производства первоначальных затрат и очередность пуска в работу отдельных частей объекта.

В состав первоначальных затрат и ежегодных расходов по рассматриваемому объекту в каждом из сравниваемых вариантов должны также входить первоначальные затраты и ежегодные прямые расходы на обслуживание объекта смежными отраслями народного хозяйства (топливоснабжение, водоснабжение и т. п.), причем соответствующие ежегодные расходы должны при сравнении вариантов учитываться по себестоимости, аналогично расходам, обусловленным непосредственно работой самого объекта, т. е. без учета отчислений на воспроизводство.

Экономические характеристики сравниваемых вариантов дают возможность определить упомянутые выше энергоэкономические критерии t_0 и $t_{ок}$.

Более общим из них является срок выравнивания величин экономических характеристик сравниваемых вариантов t_0 , определяемый при графическом построении экономических характеристик, как абсцисса точки пересечения характеристик.

Величина t_0 определяется аналитически из соотношения соответствующих значений экономических характеристик двух сравниваемых вариантов I и II.

$$\sum_{t=0}^{t=t_0} K_{нев t I} + \sum_{t=1}^{t=t_0} I_{пр t I} = \sum_{t=0}^{t=t_0} K'_{нев t II} + \sum_{t=1}^{t=t_0} I_{пр t II}.$$

Отсюда

$$\sum_{t=0}^{t=t_0} K_{нев t I} - \sum_{t=0}^{t=t_0} K'_{нев t II} = \sum_{t=1}^{t=t_0} I_{пр t II} - \sum_{t=1}^{t=t_0} I_{пр t I} =$$

$$= I_{пр ср II}^{(t_0)} t_0 - I_{пр ср I}^{(t_0)} t_0 \approx I_{пр ср II} t_0 - I_{пр ср I} t_0,$$

где

$$\sum_{t=0}^{t=t_0} K'_{невт II} = K_{0II} + \sum_{t=1}^{t=t_0} I_{ат II} \frac{t_{aI}}{t_{aII}} - \text{невозвратимые перво-}$$

начальные затраты по варианту II, перечисленные на срок амортизации объекта, принятый для варианта I t_{aI} (в случае неравенства t_{aI} и t_{aII});

$I_{пр ср I}^{(t_0)}$ и $I_{пр ср II}^{(t_0)}$ — средние годовые прямые расходы за промежуток времени t_0 , соответственно по I и II вариантам;

$I_{пр ср I}$ и $I_{пр ср II}$ — средние годовые прямые расходы за расчетный период $t_{расч}$ соответственно по вариантам I и II.

Из полученного выше соотношения значений экономических характеристик сравниваемых вариантов определяется t_0

$$t_0 = \frac{\sum_{t=0}^{t=t_0} K_{невт I} - \sum_{t=0}^{t=t_0} K'_{невт II}}{I_{пр ср II} - I_{пр ср I}}$$

Вторым энергоэкономическим критерием, основным по своему значению при выборе варианта, является срок окупаемости превышения полных первоначальных затрат по одному из вариантов за счет экономии в средних ежегодных прямых расходах по тому же варианту $t_{ок}$. Как правило, этот критерий $t_{ок}$ определяется аналитически по формуле для t_0 , принимая $t_0 = t_{ок}$. Тогда

$$\sum_{t=0}^{t=t_{расч}} K_{невт I} = K_I \quad \text{и} \quad \sum_{t=0}^{t=t_{расч}} K'_{невт II} = K'_{II}$$

Таким образом

$$t_{ок} = \frac{K_I - K'_{II}}{I_{пр ср II} - I_{пр ср I}}$$

Если прямые годовые расходы имеют более или менее неизменную в течение расчетного периода величину, т. е. $I_{пр t} \approx I_{пр ср}$, то, вместо графического построения экономических характеристик за весь расчетный период, для выбора варианта достаточно определить аналитически значение экономической характеристики по каждому из сравниваемых вариантов применительно только к последнему году расчетного периода в виде

$$Z_{c t_{расч}} = K + I_{пр ср} t_{расч}$$

Выбору подлежит тот вариант, для которого $Z_{c t_{расч}}$ имеет наименьшее значение.

Соответствующий срок окупаемости $t_{ок}$, равный для случая $K_I > K'_{II}$

$$t_{ок} = \frac{K_I - K'_{II}}{I_{пр ср II} - I_{пр ср I}}$$

оказывается при этом, как показывает сделанный в работе анализ, меньше $t_{расч}$, если $t_0 < t_{расч}$, причем $t_{ок} < t_0$.

Если же $t_0 = t_{расч}$, то и $t_{ок} = t_{расч}$, где $t_{расч} = t_{ок доп}$.

Таким образом предлагаемый метод энергоэкономических критериев заключается в следующем.

1. По каждому из вариантов рассматриваемого энергетического объекта, составленных при помощи метода комплексного рассмотрения, устанавливаются энергетические критерии, дающие возможность получения одинакового заданного народнохозяйственного эффекта при требуемой надежности этого получения.

2. Затем для каждого из вариантов определяются экономические критерии, а именно:

а) расчетный период $t_{расч}$, принимаемый равным экономическому сроку амортизации таких установок $t_{а эк} = t_{ок доп}$;

б) экономическая характеристика Z_c по каждому из сравниваемых вариантов, которая при переменных в течение расчетного периода прямых годовых расходах ($I_{пр t} \neq$

$\neq I_{пр ср}$) строится графически за весь расчетный период для последующего выбора варианта.

В противном случае, при $I_{пр t} = I_{пр ср}$, достаточно определить только суммарные значения экономических характеристик сравниваемых вариантов применительно к последнему году расчетного периода.

3. Полученные экономические характеристики дают возможность определить величину срока окупаемости превышения первоначальных затрат по более дорогому варианту за счет ежегодной экономии в средних годовых прямых расходах по тому же варианту $t_{ок}$, т. е. срока выравнивания суммарных значений полных первоначальных затрат и годовых прямых расходов по сравниваемым вариантам.

4. Выбору подлежит вариант с меньшей величиной экономической характеристики в конце расчетного периода, причем получаемый для этого варианта срок окупаемости не превышает допустимого срока окупаемости $t_{ок доп}$.

При этом уточнение величины срока окупаемости для выбираемого варианта производится только в случаях, когда оно является необходимым, например, когда каждый из нескольких сравниваемых вариантов имеет срок окупаемости (по отношению к третьему варианту) меньший расчетного периода.

5. Окончательный выбор варианта должен производиться с учетом степени удовлетворения добавочных требований народного хозяйства в отношении оборонных условий, здравоохранения, структуры материальных затрат, срока сооружения и других.

При одинаковых экономических характеристиках и прочих равных условиях, выбору подлежит вариант с минимальными суммарными расходами энергетических ресурсов, в частности — топлива.

Энергоэкономические критерии, предлагаемые другими авторами и проектными организациями для соизмерения первоначальных затрат (капиталовложений) и эксплуатационных расходов, под названием «срока окупаемости», «срока расширенного воспроизводства», «срока возобновления затрат», «срока компенсирования» и т. д., содержит в числе, в подавляющем большинстве случаев, суммарные капитальные затраты, без учета разной длительности амортизации элементов установок в сравниваемых вариантах.

При этом в знаменателе выражения, определяющего данный энергоэкономический критерий, помещается место предлагаемой в настоящей работе разности прямых годовых рас-

ходов разность полных ежегодных расходов, включая и соответствующие амортизационные отчисления, что значительно превышает величину данного критерия и не соответствует основному экономическому закону социализма, указывающему на необходимость непрерывного роста и совершенствования социалистического производства на базе высшей техники. Следовательно, для сравниваемых вариантов должны предусматриваться амортизационные отчисления одинаковой величины, т. е. они не должны фигурировать в знаменателе данного энергоэкономического критерия.

Поэтому в ряде случаев пользование энергоэкономическими критериями других авторов не может привести к выбору оптимального варианта.

Предложенные выше методы для составления и выбора энергетических вариантов могут быть применены, с соответствующими коррективами, для составления и выбора вариантов также в других областях народного хозяйства.

Раздел III

ПРЕДЛАГАЕМАЯ МЕТОДИКА РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ И СТРУКТУРЫ ТЕПЛО- ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ СССР

1. Основные вопросы проблемы ТЭЦ и общая характеристика предлагаемой методики решения проблемы

Для возможности разработки методики определения оптимальных параметров и структуры ТЭЦ, применимой в каждом частном случае, предварительно необходим анализ основных вопросов проблемы и возможных вариантов их решения как для местных, так и для районных ТЭЦ применительно к разным случаям исходных условий.

На основе сделанной выше постановки рассматриваемой проблемы, в комплекс основных вопросов, подлежащих рассмотрению и решению в определенной последовательности, должны входить следующие вопросы.

1. Составление вариантов энергопотребления.
2. Возможное покрытие потребностей в тепле и электроэнергии за счет использования вторичных энергетических ресурсов потребителей.

3. Возможное покрытие потребностей в тепле за счет применения тепловых насосов и трансформаторов тепла.

4. Составление вариантов тепловых нагрузок местных и районных ТЭЦ.

5. Составление вариантов электрических нагрузок местных и районных ТЭЦ.

6. Составление вариантов энергоснабжения.

7. Выбор варианта энергоснабжения и оптимальных тепловых и электрических нагрузок ТЭЦ.

8. Выбор термодинамических циклов для ТЭЦ.

9. Выбор генераторных агрегатов ТЭЦ.

10. Выбор котельных агрегатов.

11. Выбор принципиальных энергетических схем и схемы компоновки ТЭЦ.

12. Определение основных техникоэкономических показателей ТЭЦ.

В работах других авторов, затрагивающих те или другие части или отдельные вопросы данной проблемы, а также при проектировании ТЭЦ проектными организациями (Теплоэлектропроектом, Промэнергопроектом и др.) большинство перечисленных выше вопросов (пп. 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8) не рассматривается. Остальные вопросы рассматриваются только частично.

Так, использование вторичных энергетических ресурсов потребителей применяется только частично, в некоторых случаях проектирования более крупных промышленных предприятий, причем комбинированное энергопроизводство на базе вторичных энергоресурсов не предусматривается.

Недостатки в решениях отдельных вопросов проектируемых ТЭЦ отмечены выше, в разделе первом.

Метод комплексного рассмотрения и метод энергоэкономических критериев, предложенные во втором разделе диссертации, дают возможность разработать методику определения оптимальных параметров и структуры ТЭЦ.

Эта методика должна давать схему решения данной проблемы путем составления и выбора, при помощи методов комплексного рассмотрения и энергоэкономических критериев, вариантов решения комплекса перечисленных выше основных вопросов проблемы, подразделяемых на две группы, рассматриваемые последовательно одна за другой, а именно:

1) составление вариантов энергопотребления, тепловых и электрических нагрузок ТЭЦ и энергоснабжения рассматриваемых потребителей; (вопросы 1, 2, 3, 4, 5, 6);

2) выбор варианта энергоснабжения и определение оптимальных параметров и структуры ТЭЦ (вопросы 7, 8, 9, 10, 11 и 12).

На первом этапе решения проблемы сначала составляются варианты энергопотребления, причем в каждом варианте последовательно рассматриваются и выбираются подварианты возможного использования вторичных энергоресурсов и применения тепловых насосов и трансформаторов. Таким путем определяются соответствующие варианты тепловых нагрузок ТЭЦ и котельных на топливе. Затем для каждого из вариантов энергопотребления составляется соответствующий вариант электрических нагрузок ТЭЦ или заменяющей ее КЭС, с надлежащим учетом параметров и структуры районной энерго-снабжающей системы.

Далее для каждого из сочетаний вариантов возможных тепловых и электрических нагрузок составляются варианты энергоснабжения рассматриваемого комплекса потребителей, путем комбинированного или отдельного энергопроизводства, т. е. от ТЭЦ и других электростанций и теплоснабжающих котельных.

При этом объектами рассмотрения являются варианты тепловых и электрических нагрузок ТЭЦ, а исходными факторами — соответствующие варианты энергопотребления, для каждого из которых зависимыми обратносвязанными факторами являются варианты использования вторичных энергоресурсов и варианты применения тепловых насосов и трансформаторов.

Зависимыми обратносвязанными факторами для объектов рассмотрения являются варианты энергоснабжения рассматриваемых потребителей.

На втором этапе — выбор варианта энергоснабжения позволяет определить оптимальные тепловые и электрические нагрузки ТЭЦ, соответствующие этому варианту, и другие оптимальные параметры и структуру ТЭЦ.

При этом определяются также основные техникоэкономические показатели проектируемой ТЭЦ и уточняется выбор варианта энергоснабжения, если полученные показатели существенно отличаются от принятых предварительно для выбранного варианта энергоснабжения.

На втором этапе объектом рассмотрения являются оптимальные параметры и структура ТЭЦ: исходным фактором — выбранный вариант энергоснабжения и зависимым обратно-

связанным фактором — основные техникоэкономические показатели ТЭЦ.

Выбор вариантов решения тех или других вопросов проблемы должен производиться по методу энергоэкономических критериев.

2. Составление вариантов энергопотребления и тепловых нагрузок ТЭЦ

Составление вариантов энергопотребления

Сочетание тех или других энергоносителей потребления, при выбранных качественных и количественных параметрах, определяет соответствующий вариант энергопотребления рассматриваемого комплекса потребителей для заданного уровня развития народного хозяйства.

При этом в каждом из вариантов энергопотребления рассматривается, помимо заданного уровня развития народного хозяйства, соответствующего последнему году расчетного периода, принятого для проектируемой ТЭЦ, также исходный уровень этого развития, относящийся к началу расчетного периода.

Основными энергоносителями потребления, непосредственно обслуживающими те или другие процессы и получаемыми от ТЭЦ или других энергетических установок, являются электроэнергия и теплоносители в виде пара и горячей воды.

Кроме того промышленными потребителями расходуется также сжатый воздух, как энергоноситель, заменяющий собою электроэнергию для производства ряда силовых процессов, или же как энергоноситель, необходимый для выполнения высокотемпературных тепловых процессов на топливе, например, процессов термической обработки и плавки металлов.

Соответствующие генераторы сжатого воздуха (компрессоры и воздуходувки) имеют как правило электрический привод и являются промышленными потребителями электроэнергии, за исключением турбовоздуходувок для доменных печей, работающих с паротурбинным приводом.

Энергоносители, из которых каждый полностью удовлетворяет требованиям обслуживаемых процессов, могут быть названы вариантными энергоносителями, применяемыми в разных вариантах энергопотребления рассматриваемого комплекса потребителей.

При составлении вариантов энергопотребления необходимо определять соответствующие качественные и количественные параметры для каждого из рассматриваемых энергоносителей потребления.

Основными количественными параметрами энергоносителей являются:

а) максимальное длительное потребление соответствующего вида энергии (расчетный максимальный часовой расход энергии) за зимние и летние рабочие сутки;

б) среднее часовое энергопотребление (средний часовой расход энергии) за зимний (отопительный) и летний (неотопительный) периоды года;

в) суммарный годовой расход энергии.

Количественные параметры должны определяться так же, как и качественные параметры, на энергетических вводах рассматриваемых энергопотребляющих объектов, т. е. с учетом потерь в энергоприемниках, внутрипотребительских сетях и энергопреобразовывающих установках.

При определении параметров рассматриваемых энергоносителей необходимо учитывать:

а) развитие и применение новых методов технологических производств, вытесняющих частично или полностью старые методы производства (электротехнология взамен механической — холодной обработки металлов, центробежное литье под давлением взамен пластической обработки металлов и т. д.), требующих новых энергоносителей или иных параметров последних;

б) создание новых энергопроизводственных агрегатов, снижающих качественные и количественные параметры расходуемых энергоносителей;

в) дальнейшую рационализацию производственных процессов, обуславливающую снижение фактических удельных норм энергопотребления.

Возможное покрытие потребностей в тепле и электроэнергии за счет использования вторичных энергетических ресурсов потребителей

В каждом из рассматриваемых вариантов энергопотребления необходимо в первую очередь решать вопрос о возможном рациональном использовании имеющихся вторичных энерго-ресурсов. Такое использование соответственно уменьшает в

каждом из вариантов энергопотребления тепловые и электрические нагрузки проектируемой ТЭЦ.

Величина вторичных энергоресурсов в ряде отраслей промышленности достигает 30—60% и более от соответствующего суммарного расхода топлива (черная и цветная металлургия, ряд химических производств и др.).

Возможно полное использование вторичных энергоресурсов имеет большое значение для народного хозяйства, так как оно не требует никаких добавочных расходов топлива на соответствующее энергоснабжение и уменьшает в ряде случаев первоначальные затраты на энергоснабжающие установки.

В диссертации рассмотрены параметры более или менее значительных вторичных энергоресурсов промышленных предприятий и сделан анализ возможных вариантов их использования. Разработаны необходимые методические указания для выбора наиболее рациональных вариантов использования вторичных энергоресурсов.

В работе предлагается возможно полное и комплексное использование наиболее значительных вторичных энергоресурсов предприятий, если таковые имеются, в первую очередь, отходящих горячих газов промышленных печей и отработавшего производственного пара (после пластической обработки металлов).

До настоящего времени использование отходящих горячих газов промышленных печей производится в далеко недостаточных размерах. Между тем потеря тепла с отходящими газами составляет в среднем не менее 30—40% от количества тепла в сжигаемом в промышленных печах топливе.

При этом пар, полученный в соответствующих котлах-утилизаторах, применяется только для отдельного энергопроизводства: главным образом для покрытия местных тепловых нагрузок, иногда — для производства механической энергии, например, в турбогазовых агрегатах коксовых цехов. Поэтому котлы-утилизаторы применяются в подавляющем большинстве случаев с низкими начальными параметрами пара ($p_0 \leq 15 \text{ атa}$, $t_0 \leq 350^\circ\text{C}$).

Между тем использование пара котлов-утилизаторов для комбинированного энергопроизводства делает такую установку на отходящих горячих газах промышленных печей наиболее эффективной, в особенности при повышении начальных параметров пара. ТЭЦ с котлами-утилизаторами вырабатывают электроэнергию без какого-либо расхода топлива.

Поэтому в диссертации предлагается использовать тепло отходящих горячих газов промышленных печей по возможности на местных ТЭЦ с котлами-утилизаторами и турбинами с противодавлением или с регулируемым отбором пара и конденсацией.

Помимо новых ТЭЦ возможно также создание таких ТЭЦ в действующих предприятиях путем реконструкции имеющихся установок с котлами-утилизаторами при помощи добавочно устанавливаемых генераторных агрегатов с турбинами с противодавлением (типа П).

Постройка ТЭЦ с котлами-утилизаторами должна быть технико-экономически обоснована в каждом частном случае.

Минимальные допустимые значения средней годовой нагрузки $P_{мин}$ соответствующего турбогенераторного агрегата П и его средней часовой тепловой нагрузки $D_{т.мин}$, необходимые для такого обоснования реконструкции котельной с котлами-утилизаторами в ТЭЦ, определяются по полученным в работе формулам:

$$P_{мин} = \frac{12u_{перс}(m+1)}{t_{рабг} b_{у т} u_{у т} - \frac{k_0}{t_{ок доп}}} \text{ кВт}$$

и

$$D_{т.мин} = \frac{P_{мин} 860}{(t_0 - t_{1а}) \eta_{ов} \eta_{м} \eta_{г} \eta_{с и}} \text{ кг/час,}$$

где

$u_{перс}$ — ежемесячная заработная плата машиниста, руб./мес;

m — число рабочих смен в сутки;

$t_{рабг}$ — общая годовая продолжительность времени работы агрегата П, час;

$b_{у т} = \frac{860}{\eta_{КЭС} 7000}$ — удельный расход условного топлива на выработку электроэнергии на районной КЭС, кг у. т./квтч;

$u_{у т}$ — удельная стоимость условного топлива на КЭС, руб./кг у. т.;

k_0 — удельные первоначальные затраты на I установленный кВт мощности агрегата П;

$t_{ок доп}$ — допустимый максимальный срок окупаемости дополнительных первоначальных затрат в варианте ТЭЦ с котлами-утилизаторами;

- i_0 — теплосодержание пара перед турбиною Π , ккал/кг;
 i_{1a} — конечное теплосодержание отработавшего в турбине пара при адиабатическом процессе, ккал/кг;
 $\eta_{\text{ов}}$ — относительный внутренний к. п. д. турбины;
 $\eta_{\text{м}}$ — механический к. п. д. турбины;
 $\eta_{\text{г}}$ — к. п. д. электрического генератора;
 $\eta_{\text{сн}}$ — коэффициент, учитывающий расход энергии на собственные нужды ТЭЦ.

Преобразование установок с котлами-утилизаторами в ТЭЦ с турбинами Π или строительство новых таких ТЭЦ рационально во многих случаях, в особенности при более высоких значениях $t_{\text{раб}}$, и должно поэтому производиться в широких пределах.

В тех случаях, когда постройка ТЭЦ с котлами-утилизаторами является нецелесообразной, установка самих котлов-утилизаторов за промышленными печами для теплоснабжения потребителей всегда рациональна, если располагаемое количество тепла в отходящих газах превышает $(2-3) 10^6$ ккал/час при годовом числе часов использования источника отходящих газов не менее 3500—4000.

Отработавший производственный пар, отходящий из производственных агрегатов пластической обработки металлов (паровых молотов, прессов, штамповочных машин) при давлении порядка 1,3—1,5 ата, составляет в среднем не менее 85÷90% от соответствующего количества производственного пара, подаваемого в цех.

После механической очистки от масла и других примесей в специальных очистителях такой отработавший производственный пар должен, в первую очередь, использоваться для соответствующего покрытия отопительно-вентиляционных, бытовых и других тепловых нагрузок.

В остальной части отработавший производственный пар должен использоваться для выработки электроэнергии в специальных генераторных агрегатах с конденсационными турбинами «мятого пара» (типа МК), если располагаемое количество отработавшего пара и годовая продолжительность работы таких агрегатов обосновывают рациональность такого использования.

В отдельных случаях возможно также использование отработавшего производственного пара в турбинах генераторных агрегатов местной ТЭЦ.

Целесообразность указанной выше очередности комплексного использования отработавшего производственного пара, в первую очередь для теплоснабжения предприятия и, во вторую очередь, для выработки электроэнергии, обуславливается значительно большей экономией топлива на энергоснабжение предприятия при таком использовании топлива, сравнительно с его использованием только для выработки электроэнергии.

Как показано в работе

$$Q_{\text{won}} \approx 0,153 Q_{\text{тон}}$$

где Q_{won} — тепловой эквивалент электроэнергии, полученной при использовании отработавшего производственного пара в генераторных агрегатах;

$Q_{\text{тон}}$ — количество тепла, полученное при использовании отработавшего производственного пара для нагревательных целей.

В случае использования отработавшего производственного пара для покрытия тепловых нагрузок, соответствующая экономия тепла в топливе на заменяемой теплоснабжающей установке составит:

а) при заменяемой котельной установке

$$\Delta Q_{\text{мон т}} = \frac{Q_{\text{тон}}}{\eta_{\text{к у}}} \approx 1,25 Q_{\text{тон}}$$

где $\eta_{\text{к у}}$ — к. п. д. заменяемой теплоснабжающей котельной;

б) при заменяемой ТЭЦ

$$\Delta Q'_{\text{мон т}} = \Delta Q_{\text{мон т}} - Q_{\text{тон}} Y_{\text{т}} 860 \left(\frac{1}{\eta_{\text{кэс}}} - \frac{1}{\eta_{\text{тэц}}} \right) \approx 0,9 Q_{\text{тон}}$$

где $Y_{\text{т}}$ — энергетический коэффициент теплофикации: для ТЭЦ с высокими начальными параметрами пара ($p_0 = 90$ ата, $t_0 = 535^\circ\text{C}$) $Y_{\text{т}} \approx 0,34 \cdot 10^{-3}$ квтч/ккал;

$\eta_{\text{кэс}} \approx 0,35$ — к. п. д. КЭС;

$\eta_{\text{тэц}} \approx 0,60$ — к. п. д. ТЭЦ.

В случае же использования отработавшего производственного пара для выработки электроэнергии, экономия тепла в топливе составит:

а) если теплоснабжение в размере $Q_{тон}$ производится от теплоснабжающей котельной

$$\Delta Q_{тон W} = \frac{Q_{тон}}{\eta_{КЭС}} \approx 0,438 Q_{тон};$$

б) если теплоснабжение в размере $Q_{тон}$ производится от ТЭЦ с высокими начальными параметрами пара

$$\Delta Q'_{тон W} = \Delta Q_{тон W} + Q_{тон} Y_T 860 \left(\frac{1}{\eta_{КЭС}} - \frac{1}{\eta_{ТЭЦ}} \right) \approx 0,738 Q_{тон}.$$

Использование отработавшего производственного пара для выработки электроэнергии, требующее дополнительных первоначальных затрат, должно быть технико-экономически обосновано.

Минимальная допустимая средняя нагрузка агрегата МК, необходимая для такого обоснования, и соответствующий минимальный допустимый средний часовой отход отработавшего производственного пара определяются по формулам, аналогичным таковым для ТЭЦ с котлами-утилизаторами.

В работе показана несомненная целесообразность такого комплексного использования отработавшего производственного пара, в особенности при $t_{раб.} \geq 6000$ час/год.

Использование же отработавшего производственного пара для покрытия тепловых нагрузок является, как показано выше, вполне рациональным во всех случаях.

Возможное покрытие потребностей в тепле за счет применения тепловых насосов и трансформаторов тепла

В диссертации обоснована целесообразность во многих случаях применения тепловых энергопреобразующих установок, в виде тепловых насосов и трансформаторов, для наиболее эффективного и возможно полного использования имеющихся вторичных энергоресурсов и других местных источников низкотемпературного и среднетемпературного тепла с целью теплоснабжения потребителей. Такое применение тепловых насосов и трансформаторов дает возможность соответственно уменьшать тепловые нагрузки проектируемой ТЭЦ. Поэтому при проектировании ТЭЦ необходимо в каждом из вариантов энергопотребления определять рациональные размеры воз-

можного покрытия потребностей в тепле за счет применения тепловых насосов и трансформаторов.

Применение тепловых насосов, повышающих температуру используемых теплоносителей, во многих случаях является рациональным для использования нагретой — охлаждающей воды производственных агрегатов, сливной бытовой воды после бытового горячего водоснабжения и других низкотемпературных теплоносителей для отопительно-вентиляционных и бытовых целей.

Важнейшим направлением наиболее рационального применения тепловых трансформаторов, повышающих давление пара, является замена редуциционно-охладительных установок (РОУ), длительно покрывающих часть тепловых нагрузок ТЭЦ непосредственно свежим паром из котельных агрегатов тепловыми трансформаторами, увеличивающими соответственно тепловые нагрузки турбин и следовательно выработку теплофикационной электроэнергии на ТЭЦ.

Применение тепловых насосов, а также тепловых трансформаторов, устанавливаемых у потребителей для использования имеющихся вторичных энергоресурсов и других местных низкотемпературных источников тепла, оказывается рациональным, если:

$$\frac{\Delta K_{э.у}}{\Delta I_{пр}} \leq t_{ок доп},$$

где $\Delta K_{э.у}$ — превышение первоначальных затрат в варианте с тепловой энергопреобразующей установкой по сравнению с вариантом с заменяемой теплоснабжающей установкой: $\Delta K_{э.у} = K_{э.у} - K_{т.у}$;
 $\Delta I_{пр}$ — ежегодная экономия в соответствующих прямых расходах по варианту с тепловой энергопреобразующей установкой.

Если теплоснабжающей установкой, заменяемой тепловыми насосами или трансформаторами, является котельная установка, то

$$\Delta I_{пр} = \left(\frac{Q_{т.э.у}}{\eta_{к.у} 7000} - B_{э.у} \right) u_{у.т.},$$

где $Q_{т.э.у}$ — годовое количество тепла, отдаваемое тепловыми насосами или трансформаторами;
 $\eta_{к.у}$ — к. п. д. теплоснабжающей котельной, работающей на топливе;
 $B_{э.у}$ — топливный эквивалент энергии, расходуемой на привод тепловых насосов или трансформаторов.

Если заменяемой теплоснабжающей установкой является ТЭЦ, то

$$\Delta I_{пр} = \left[\frac{Q_{тэу}}{\eta_{к.у.} 7000} - Q_{тэу} Y_{т} \frac{860}{7000} \left(\frac{1}{\eta_{кэс}} - \frac{1}{\eta_{тэц}} \right) - B_{эу} \right] u_{у.т.}$$

При применении тепловых трансформаторов взамен РОУ увеличивается выработка теплофикационной электроэнергии, получаемой на базе тепловых нагрузок турбин ТЭЦ.

Поэтому в таком случае, как установлено в диссертации:

$$\Delta I_{пр} \approx \Delta W'_{т} \left(\frac{1}{\eta_{кэс}} - \frac{1}{\eta_{тэц}} \right) \frac{860}{7000} u_{у.т.},$$

где $\Delta W'_{т}$ — добавочная полезная выработка теплофикационной электроэнергии, т. е. с учетом расхода электроэнергии на электропривод теплового трансформатора (если такой электропривод имеется), *кВтч.*

Таким образом, применение тепловых трансформаторов вместо РОУ является рациональным, если

$$\Delta I_{пр} \geq \frac{\Delta K_{т.тр}}{t_{ок.дон}},$$

т. е., если

$$\Delta W'_{т} \geq \frac{\Delta K_{т.тр} 7000}{t_{ок.дон} u_{у.т} 860 \left(\frac{1}{\eta_{кэс}} - \frac{1}{\eta_{тэц}} \right)}.$$

Ввиду возможной во многих случаях значительной экономической эффективности применения тепловых насосов и трансформаторов, использующих вторичные энергоресурсы потребителей и другие местные низкотемпературные источники тепла для целей теплоснабжения без специальной затраты топлива, кроме расхода энергии на привод таких агрегатов, они должны получить в ближайшем же будущем значительное применение.

Составление вариантов тепловых нагрузок местных и районных ТЭЦ

Учет в каждом из составленных вариантов энергопотребления возможного использования вторичных энергоресурсов и применения тепловых насосов и трансформаторов определяет

соответствующие тепловые нагрузки проектируемой ТЭЦ $Q_{т.тэц}$ и возможной вообще теплоснабжающей котельной установки $Q_{т.кот}$, которые должны быть покрыты за счет расходов топлива, в виде

$$Q_{т.тэц} + Q_{т.кот} = Q_{т.топ} = Q_{т.п} - Q_{т.ивэр} - Q_{тэу},$$

где $Q_{т.п}$ — тепловое потребление по рассматриваемому варианту;

$Q_{т.ивэр}$ — покрытие потребностей в тепле за счет непосредственного использования вторичных энергоресурсов;

$Q_{тэу}$ — покрытие потребностей в тепле за счет использования вторичных энергоресурсов и других местных низкотемпературных источников тепла при помощи тепловых насосов и трансформаторов.

В подавляющем большинстве случаев, в особенности для промышленных ТЭЦ

$$Q_{т.тэц} < Q_{т.п},$$

причем при наличии более энергоемких промышленных потребителей

$$Q_{т.тэц} \leq (0,70 \div 0,80) Q_{т.п}.$$

Между тем при практикуемом проектировании ТЭЦ неправильно принимается обычно

$$Q_{т.тэц} = Q_{т.п}.$$

3. Составление вариантов электрических нагрузок ТЭЦ и вариантов энергоснабжения

Структура и параметры энергоснабжающей системы

Как установлено выше, ТЭЦ должны работать по возможности по свободным графикам тепловых нагрузок и вынужденным графикам электрических нагрузок.

Выработка конденсационной электроэнергии на ТЭЦ должна быть обоснована структурой и режимами тепловых нагрузок проектируемых ТЭЦ, возможностями получения электро-

энергии из районной энергоснабжающей системы для рассматриваемого комплекса потребителей и экономическими показателями выработки конденсационной электроэнергии на проектируемых ТЭЦ и в районной системе.

Таким образом, для определения электрических нагрузок проектируемых ТЭЦ, необходимо иметь основные экономические показатели, характеризующие возможное электроснабжение от районной системы, а именно: удельную стоимость одного *квт*, устанавливаемого для этой цели на электростанциях системы, и себестоимость *квтч*, отпускаемого системой, отнесенных к проектируемым ТЭЦ, т. е. с учетом первоначальных затрат на соответствующие районные электросети и потерь мощности и энергии в этих сетях, а также величину общего резерва мощности в системе. Для проектирования районных ТЭЦ необходимо также иметь данные, характеризующие параметры и структуры соответствующей районной системы: характерные суточные (зимний и летний) графики электрической активной нагрузки системы без учета и с учетом рассматриваемого электропотребления, выработку за характерные зимние и летние сутки и за год в целом теплофикационной, конденсационной и гидроэлектрической энергии, стоимость одного установленного *квт* и себестоимость *квтч* для каждой из электростанций системы (ГЭС, ТЭЦ, КЭС и др.).

Основными и почти единственными типами современных тепловых электростанций, работающих в составе районных систем, являются паротурбинные ТЭЦ и КЭС.

В отдельных случаях в состав районных энергоснабжающих систем начинают входить также газотурбинные и атомные ТЭС, работающие в качестве ТЭЦ или же вырабатывающие, в процессе раздельного энергопроизводства, только электроэнергию, аналогично КЭС.

Составление вариантов электрических нагрузок местных ТЭЦ

Для каждого из рассматриваемых вариантов энергопотребления и тепловых нагрузок местной или районной проектируемой ТЭЦ должен определяться соответствующий вариант электрических нагрузок ТЭЦ с учетом возможного использования в каждом варианте вторичных энергоресурсов потребителей для выработки электроэнергии.

При отсутствии районной энергоснабжающей системы, что может иметь место только в некоторых вновь осваиваемых

районах, проектируемая местная ТЭЦ должна покрывать все потребности в электроэнергии, т. е. максимальная нагрузка такой ТЭЦ

$$P_T = P_n - P_{ивэр}$$

и годовой отпуск электроэнергии с ТЭЦ

$$W_{ТЭЦ} = W_n - W_{ивэр},$$

причем

$$P_{ТЭЦ} = P_T + P_{кТЭЦ}$$

и

$$W_{ТЭЦ} = W_T + W_{кТЭЦ},$$

где P_n и W_n — соответственно — максимальное часовое и годовое потребление электроэнергии;

$P_{ивэр}$ и $W_{ивэр}$ — соответственно — мощность и годовое количество электроэнергии, получаемые за счет использования вторичных энергоресурсов потребителей;

$P_{кТЭЦ}$ и $W_{кТЭЦ}$ — соответственно — конденсационная мощность и годовое количество конденсационной электроэнергии, получаемые при конденсационном режиме работы агрегатов проектируемой ТЭЦ.

При наличии же, как правило, районной энергоснабжающей системы проектируемая местная ТЭЦ, с более или менее постоянными по величине в течение года тепловыми нагрузками, должна вырабатывать только теплофикационную электроэнергию:

$$P_{ТЭЦ} = P_T = \sum f(Q_{ТТЭЦ})$$

и

$$W_{ТЭЦ} = W_T = \sum \varphi(Q_{ТТЭЦ,г}),$$

где $Q_{ТТЭЦ}$ и $Q_{ТТЭЦ,г}$ — часовая и годовая тепловые нагрузки проектируемой ТЭЦ в рассматриваемом варианте энергопотребления.

В таких случаях районная энергоснабжающая система должна частично покрывать потребности рассматриваемых потребителей в электроэнергии, а именно:

$$P_c = P_n - P_{ивер} - P_{ТЭЦ}$$

и

$$W_c = W_n - W_{ивер} - W_{ТЭЦ},$$

причем P_c и W_c — соответственно — максимальная нагрузка и годовой отпуск электроэнергии из районной системы для рассматриваемых потребителей.

Если же, при наличии районной системы, тепловые нагрузки ТЭЦ значительно изменяются по величине в течение года и имеют сравнительно небольшую годовую продолжительность, в ряде случаев может оказаться рациональной некоторая выработка на проектируемой ТЭЦ также конденсационной электроэнергии, т. е.

$$P_{ТЭЦ} = P_T + P_{к ТЭЦ}$$

и

$$W_{ТЭЦ} = W_T + W_{к ТЭЦ},$$

причем максимальный конденсационный хвост отдельных агрегатов ТЭЦ не должен превышать

$$P_{кх} \leq P_T + P_{к мин},$$

где P_T — максимальная теплофикационная мощность агрегата;

$P_{к мин}$ — минимальная выработка агрегатом конденсационной мощности, при минимальном пропуске пара в конденсатор турбины.

В остальной части требуемое электропотребление должно покрываться за счет районной системы.

Составление вариантов электрических нагрузок районных ТЭЦ

Электрические нагрузки районных ТЭЦ, входящих в состав районной энергоснабжающей системы и могущих достаточно экономично вырабатывать конденсационную электроэнергию, должны в каждом из рассматриваемых вариантов энергопотребления определяться на основе наиболее рацио-

нального покрытия суточных совмещенных графиков активных электрических нагрузок районной системы электростанциями, входящими в состав последней.

При этом должны рассматриваться характерные суточные графики нагрузок за зимние и летние сутки с максимальным суточным отпуском электроэнергии, применительно к расчетному уровню развития народного хозяйства.

В нижней (базисной) части суточных графиков нагрузок системы должна располагаться теплофикационная электроэнергия, отпускаемая от действующих ТЭЦ системы, а также теплофикационная электроэнергия от проектируемых ТЭЦ.

В верхней (пиковой) части графиков располагается гидроэлектроэнергия от ГЭС системы.

Средняя часть графиков должна покрываться конденсационной электроэнергией, а именно отпускаемой от КЭС и действующих ТЭЦ системы, а также — от проектируемых ТЭЦ.

Графики нагрузок системы должны при этом покрываться по возможности без дублирования мощности районной системы, т. е. только при минимальном необходимом резерве мощности во время прохождения совмещенного максимума электрической нагрузки системы.

Для полного отсутствия дублированной мощности в районной системе, как установлено в работе, необходимо, чтобы:

а) зимние максимумы нагрузок электростанций системы совпадали во времени с годовым совмещенным максимумом нагрузки системы;

б) резервная мощность системы должна быть равна мощности аварийного резерва;

в) суммарный конденсационный хвост всех ТЭЦ должен быть равен нулю.

В диссертации разработана методика рационального покрытия графиков нагрузок районной системы при разных вариантах структуры последней, определяющая для каждого из вариантов энергопотребления наиболее рациональные электрические нагрузки проектируемых районных ТЭЦ.

Таким образом, в общем случае для проектируемой районной ТЭЦ

$$P_{ТЭЦ} = P_T + P_{к ТЭЦ}$$

и

$$W_{ТЭЦ} = W_T + W_{к ТЭЦ},$$

причем, аналогично местным ТЭЦ, необходимо, чтобы

$$P_{к.х} \leq P_T + P_{к.мин.}$$

При более или менее постоянных по величине тепловых нагрузках районной ТЭЦ, не могущей достаточно экономично вырабатывать конденсационную электроэнергию, необходимо, чтобы:

$$P_{ТЭЦ} = P_T$$

и

$$W_{ТЭЦ} = W_T,$$

Составление вариантов энергоснабжения

Полученные варианты тепловых и соответствующих им электрических нагрузок ТЭЦ дают возможность на их основе составить варианты энергоснабжения рассматриваемого комплекса потребителей с комбинированным и раздельным производством энергии.

Для каждого из полученных вариантов энергоснабжения составляются, применительно к заданному расчетному уровню развития народного хозяйства, расходные и приходные части энергетических балансов по мощности и энергии, соответственно — за характерные зимние и летние рабочие сутки и за год в целом.

Энергетические балансы по мощности и энергии дают возможность уточнить соответствующие варианты энергоснабжения с возможным применением помимо проектируемых ТЭЦ других электростанций и энергоснабжающих установок как вновь создаваемых, так и реконструируемых.

При этом целесообразно пользоваться предложенными в работе энергетическими показателями в виде энергетического коэффициента потребления; энергетического коэффициента комбинированного производства энергии и коэффициента рациональности использования топлива.

В каждом из вариантов энергоснабжения принимаются приближенно основные параметры необходимых энергоснабжающих установок и основные технико-экономические показатели последних, в частности приближенные капитальные затраты и ежегодные расходы.

4. Выбор варианта энергоснабжения и оптимальных параметров и структуры ТЭЦ

Выбор варианта энергоснабжения и оптимальных тепловых и электрических нагрузок ТЭЦ

Выбранный при помощи метода энергоэкономических критериев наиболее рациональный вариант энергоснабжения определяет число подлежащих проектированию новых или реконструируемых ТЭЦ и оптимальные тепловые и электрические нагрузки каждой из этих ТЭЦ, на основе которых должны определяться другие оптимальные параметры и структура ТЭЦ. Число таких ТЭЦ должно быть минимальным.

В диссертации разработана соответствующая методика составления и выбора вариантов энергоснабжения.

Выбор термодинамических циклов и генераторных и котельных агрегатов ТЭЦ

Выбор термодинамического цикла и начальных параметров рабочего тела для тепловых электростанций, в том числе ТЭЦ, непосредственно связан с величиной мощности станции и ее отдельных агрегатов.

Для местных ТЭЦ небольшой мощности, работающих на природном газе или жидком топливе, представляется рациональным применение парогазовых или газовых циклов с теми или другими газотурбинными установками, обеспечивающих более экономичную работу таких ТЭЦ, чем применяемая в настоящее время работа на водяном паре по регенеративному циклу со средним или повышенным начальными параметрами пара.

На местных и районных ТЭЦ средней и большой мощности с паротурбинными агрегатами, работающих по регенеративному циклу, целесообразно применение возможно более высоких начальных параметров пара для увеличения выработки теплофикационной электроэнергии.

Выбор энергетических типов, параметров и числа генераторных и котельных агрегатов для ТЭЦ должен производиться путем составления целесообразных в данных условиях вариантов и выбора, наиболее рационального из них.

В работе сделан критический разбор энергетических типов современных теплофикационных агрегатов для ТЭЦ и предло-

жены энергетические характеристики таких теплофикационных агрегатов, применяемые при выборе таких агрегатов.

Графическое построение таких энергетических характеристик, выражающих зависимость мощности, развиваемой генераторным агрегатом, от полного расхода пара турбиной, т. е.

$$P = f(D_{турб}),$$

дает возможность для любого режима работы агрегата непосредственно определить получаемую при этом режиме теплофикационную и конденсационную, а также полную мощность агрегата.

Для покрытия тепловых нагрузок более или менее постоянной величины целесообразно в частности на промышленных ТЭЦ, применение генераторных агрегатов без конденсационных хвостов, имеющих турбины с противодавлением, противодавлением и регулируемым отбором или ухудшенным вакуумом и регулируемым отбором, т. е. — агрегатов типа П, ПО и УО.

Применение генераторных агрегатов с конденсационными хвостами (типов КО и КОО), в частности на районных ТЭЦ, целесообразно при наличии тепловых нагрузок переменной величины в течение года, если выработка конденсационной электроэнергии на таких ТЭЦ оказывается достаточно экономичной.

Число генераторных агрегатов ТЭЦ должно быть возможно минимальным, так как концентрация мощности ТЭЦ в отдельных агрегатах, связанная с уменьшением их числа, обуславливает снижение первоначальных затрат на ТЭЦ и повышение экономичности работы станции.

Минимальное допустимое число генераторных агрегатов зависит от параметров и режимов тепловых нагрузок ТЭЦ, типов выбираемых агрегатов, а также величины располагаемой резервной мощности в соответствующей районной энерго-снабжающей системе (или на самой ТЭЦ, если она является изолированной).

Необходимая для ТЭЦ резервная мощность должна получаться от районной энергоснабжающей системы или от других электростанций. Резервирование теплоснабжения от ТЭЦ, при выходе в планово-предупредительный или аварийный ремонт того или другого генераторного агрегата станции, должно производиться от котельных агрегатов ТЭЦ через резервные РОУ или же от других ТЭЦ или теплоснабжающих котельных.

Для уменьшения первоначальных затрат на котельные агрегаты ТЭЦ целесообразно применять пиковые водогрейные котлы для покрытия максимумов отопительно-вентиляционной нагрузки вместо пиковых сетевых подогревателей, питаемых через РОУ от котельных агрегатов ТЭЦ с высокими начальными параметрами пара.

Для котельных агрегатов, аналогично генераторным агрегатам, вполне целесообразной является возможная концентрация паропроизводительности котельной ТЭЦ в минимальном числе котельных агрегатов, допустимом с учетом необходимого котельного резерва.

Резервный котельный агрегат необходим на ТЭЦ только в тех случаях, когда при выходе из работы одного из котлов во время зимней максимальной тепловой нагрузки остающиеся в работе котельные агрегаты недостаточны для покрытия всех производственных тепловых нагрузок, а также средней за наиболее холодный месяц отопительно-вентиляционной и бытовой нагрузки, с учетом имеющихся возможностей частичного резервного питания тепловых нагрузок ТЭЦ от других теплоснабжающих установок и перевода электрической нагрузки ТЭЦ временно на районную систему. В таких случаях целесообразно устанавливать резервный котельный агрегат низкого давления.

Такой резервный котельный агрегат низкого давления может устанавливаться не на проектируемой ТЭЦ, а на другой станции или теплоснабжающей котельной, связанной тепловой сетью с проектируемой теплоэлектрической станцией. На ТЭЦ должны применяться комплексная механизация и автоматизация производства.

Выбор принципиальных энергетических схем и схемы компоновки ТЭЦ

При более или менее постоянных по величине нагрузках и при длительном годовом использовании котельных и генераторных агрегатов ТЭЦ отпадает необходимость устройства постоянных поперечных магистральных энергетических связей между агрегатами в тепломеханической и электрической частях ТЭЦ — в виде магистральных паропроводов и электрических сборных шин генераторного напряжения.

На более мощных из таких ТЭЦ представляется целесообразным полный отказ как от рабочих, так и резервных по-

перечных магистральных энергетических связей между агрегатами.

На таких ТЭЦ целесообразно применение компоновки станции по блочной схеме «котлоагрегат — турбоагрегат», обеспечивающей наиболее простые и короткие энергетические связи между агрегатами и наименьшие первоначальные затраты и эксплуатационные расходы на станции.

В более мягких климатических поясах следует по возможности строить ТЭЦ полуоткрытого и открытого типов для уменьшения первоначальных затрат на строительную часть станции и сокращения сроков строительства.

На ТЭЦ полуоткрытого типа основное и вспомогательное оборудование котельной размещается на открытом воздухе, причем котельные агрегаты могут располагаться под облегченными навесами.

На ТЭЦ открытого типа все основное оборудование станции размещается под открытым небом и только вспомогательное оборудование, а также щиты управления помещаются в закрытых помещениях.

Определение основных технико-экономических показателей ТЭЦ

Приближенные технико-экономические показатели ТЭЦ, принятые предварительно при выборе варианта энергоснабжения уточняются в дальнейшем, по мере определения оптимальных параметров и структуры ТЭЦ.

В случае существенного отклонения значений уточненных технико-экономических показателей проектируемых ТЭЦ от принятых приближенно при выборе варианта энергоснабжения, необходимо произвести уточнение этого выбора, применяя для сравниваемых вариантов энергоснабжения уточненные показатели ТЭЦ.

5. Предлагаемая методика решения проблемы ТЭЦ в целом

Сделанное в диссертации исследование основных вопросов проблемы оптимальных параметров и структуры ТЭЦ и предложенная методика решения таких вопросов для отдельных частей проблемы дают возможность разработать методику решения проблемы в целом как для местных, так и для районных ТЭЦ, базирующуюся на применении методов комплексного рассмотрения и энергоэкономических критериев.

Предлагаемая в диссертации методика решения проблемы в целом устанавливает аналитические зависимости для всего рассматриваемого комплекса основных вопросов проблемы и дает соответствующие графические схемы решения проблемы для местных и районных теплоэлектрических станций.

Раздел IV

ВОЗМОЖНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ПРЕДЛАГАЕМОЙ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ И СТРУКТУРЫ ТЭЦ

1. Предлагаемые энергоснабжающие установки и энергооборудование ТЭЦ

В диссертации, как показано выше, предлагается возможно полное и комплексное использование вторичных энергоресурсов потребителей для получения тепла и выработки электроэнергии, в первую очередь — отходящих горячих газов промышленных печей и отработавшего производственного пара как на самих ТЭЦ (в котлах-утилизаторах и генераторных агрегатах), так и в специальных энергоснабжающих установках.

Во многих случаях может оказаться целесообразным применение тепловых насосов и трансформаторов для более полного и эффективного использования вторичных энергоресурсов для теплоснабжения потребителей, в том числе нагретой охлаждающей воды из производственных агрегатов и сливной воды бытового горячего водоснабжения, и других местных источников низко- и среднетемпературного тепла.

Наиболее рациональным представляется применение тепловых трансформаторов на ТЭЦ для замены редуционно-охладительных установок, длительно покрывающих тепловые нагрузки станции свежим паром из котельных агрегатов. Такая замена увеличивает выработку теплофикационной электроэнергии на ТЭЦ.

В ряде случаев целесообразно также применение тепловых насосов для использования отходящего тепла в воде, охлаждающей конденсаторы паровых турбин ТЭЦ и КЭС, и отходящего тепла газотурбинных станций для теплоснабжения потребителей (бытовых, сельскохозяйственных и проч).

Основными энергетическими типами теплофикационных генераторных агрегатов на ТЭЦ должны являться агрегаты П, ПО, УО и КО, в особенности же агрегаты П, ПО и УО.

Агрегаты КО и КОО должны применяться только на районных ТЭЦ, вырабатывающих достаточно экономично конденсационную электроэнергию.

Конденсационный хвост генераторных агрегатов типов КО и КОО во многих случаях должен быть значительно меньше максимально вынужденной мощности агрегата при теплофикационном режиме работы.

Для обслуживания тепловых процессов потребителей представляется целесообразным во многих случаях применение генераторных агрегатов с нерегулируемыми отборами пара.

Необходимо возможно большее применение на промышленных ТЭЦ котлов-утилизаторов, работающих на отходящих газах промышленных печей.

При наличии значительной отопительно-вентиляционной тепловой нагрузки на ТЭЦ следует пиковые сетевые подогреватели заменять пиковыми водогрейными котлами низкого давления.

В случае необходимости иметь на ТЭЦ резервный котельный агрегат, в качестве такового целесообразно применять котельный агрегат низкого давления.

Наиболее рациональными термодинамическими циклами для ТЭЦ небольшой мощности, работающих на газе или жидком топливе, представляются парогазовый и газовый циклы.

Необходимо, наряду со строительством новых промышленных ТЭЦ с котлами-утилизаторами, возможно шире реконструировать действующие теплоснабжающие котельные установки с котлами-утилизаторами в местные ТЭЦ при помощи генераторных агрегатов типа П и ПО.

Для более мощных ТЭЦ со сравнительно постоянной тепловой нагрузкой представляется целесообразным применение блочной схемы «котлоагрегат—турбоагрегат», без поперечных магистральных энергетических связей на ТЭЦ.

2. О возможной эффективности применения предлагаемой методики решения проблемы ТЭЦ

В работе сделаны примерные подсчеты соответствующего экономического эффекта, обусловливаемого применением предлагаемой методики решения проблемы для проектируемых ТЭЦ, применительно к концу семилетки.

Такой эффект обуславливается, в частности:

а) экономией в суммарных первоначальных затратах, вследствие уменьшения установленной мощности электростанций в результате использования вторичных энергоресурсов и применения энергообразовывающих установок для энергообеспечения потребителей, а также надлежащего покрытия графиков электрической нагрузки районной энергоснабжающей системы;

б) экономией в суммарных прямых годовых расходах, вследствие использования вторичных энергоресурсов и надлежащего выбора и использования энергооборудования ТЭЦ, что уменьшает суммарный расход топлива на энергообеспечение потребителей.

Как показывают приближенные подсчеты, рассматриваемый экономический эффект может оказаться значительным.

Так, экономия в капитальных затратах на строительство новых и расширение действующих ТЭЦ составит не менее $5 \cdot 10^9$ рублей за семилетку.

Предложенное в диссертации строительство промышленных ТЭЦ с котлами-утилизаторами и реконструкция действующих котельных установок с котлами-утилизаторами в ТЭЦ с агрегатами типа П могут дать годовую выработку теплофикационной электроэнергии на таких ТЭЦ в половине предприятий только одной черной металлургии не менее $5 \cdot 10^9$ квтч без затраты топлива.

Годовая экономия топлива на энергообеспечение от ТЭЦ и других установок только за счет возможно полного комплексного использования вторичных энергоресурсов, хотя бы для 20% всего промышленного сектора страны, составит не менее $20 \cdot 10^6$ т. у. т. и т. д.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. На основе анализа современного состояния теплофикации и параметров и структуры советских и зарубежных ТЭЦ обоснована необходимость решения проблемы оптимальных параметров и структуры ТЭЦ путем последовательного составления и выбора соответствующих вариантов и выявлен комплекс основных вопросов, подлежащих рассмотрению при решении проблемы.

2. Предложены два новых исходных метода для составления и выбора вариантов энергетических установок (метод

комплексного рассмотрения и метод энергоэкономических критериев) с целью обеспечить получение оптимальных решений.

3. Предложено и обосновано соответствующее уменьшение тепловых и, следовательно, электрических нагрузок ТЭЦ за счет применения других энергетических установок (использующих вторичные энергоресурсы потребителей, применяющих тепловые насосы и трансформаторы, и других).

Установлены необходимые условия и зависимости для выбора наиболее рациональных вариантов комплексного использования вторичных энергоресурсов и выбора установок с тепловыми насосами и трансформаторами тепла.

4. Разработано определение числа, оптимальных параметров и структуры проектируемых ТЭЦ на основе наиболее рационального варианта энергоснабжения рассматриваемых потребителей.

Предложены энергетические характеристики генераторных и котельных агрегатов и ТЭЦ в целом для выбора основного энергооборудования станции.

5. Разработана методика определения оптимальных параметров и структуры проектируемых ТЭЦ в целом, как местных, так и районных, базирующаяся на применении метода комплексного рассмотрения для составления вариантов решения отдельных вопросов проблемы и проблемы в целом и метода энергоэкономических критериев для выбора оптимального из вариантов.

Установлены необходимые аналитические и графические зависимости для решения всего комплекса основных вопросов проблемы.

6. Предложено для проектируемых местных и районных ТЭЦ соответствующее основное энергооборудование, в том числе: котлы-утилизаторы для местных ТЭЦ, установки с тепловыми насосами и трансформаторами, генераторные агрегаты типов П, ПО и УО для местных и районных ТЭЦ и агрегаты типов КО и КОО для мощных районных ТЭЦ, вырабатывающих достаточно экономично конденсационную электроэнергию.

7. Сделаны приближенные подсчеты возможной эффективности применения разработанной методики определения оптимальных параметров и структуры ТЭЦ, показывающие возможность получения значительного экономического эффекта в части первоначальных затрат на ТЭЦ и ежегодной экономии топлива.

ОПУБЛИКОВАННЫЕ ТРУДЫ АВТОРА ПО ВОПРОСАМ ДИССЕРТАЦИИ

1. К. В. Булгаков, Проблема использования тепловых отходов металлургических печей, «Бюллетень ВАРНИТСО», изд. Академии наук СССР, 1933.

2. К. В. Булгаков, Энергоснабжение промышленных предприятий, «Электричество» № 7, 1953.

3. К. В. Булгаков, Энергоснабжение промышленных предприятий (монография на 21 печ. л.), Госэнергоиздат, 1957.

4. К. В. Булгаков, О выборе оптимальных параметров и структуры проектируемых теплоэлектрических станций, «Известия Ленинградского Электротехнического института имени В. И. Ульянова (Ленина)», выпуск XXXIV, 1958.

5. К. В. Булгаков, О рациональном составлении и выборе энергетических вариантов, «Известия Ленинградского Электротехнического института имени В. И. Ульянова (Ленина)», выпуск XXXV, 1958.

6. К. В. Булгаков, О рациональном энергоснабжении промышленных предприятий, «Теплоэнергетика» № 7, 1958.

7. К. В. Булгаков, О рациональном применении тепловых трансформаторов, «Известия высших учебных заведений МВО СССР», раздел «Энергетика» № 3, 1959.

8. К. В. Булгаков, Основы проектирования и эксплуатации тепловых электрических станций (учебное пособие на 5 печ. л.), Северозападный заочный политехнический институт, выпуск I, 1959.