Отзыв на диссертационную работу М.М. Султанова

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ОБОРУДОВАНИЯ ТЭЦ

ПО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Для удобства сопоставления формулы цитируются с **теми же** номерами, которые они имеют в тексте диссертации, например (2.25). Формулы, не содержащиеся в диссертации, обозначаются, как Д-0, Д-1 и т.д.

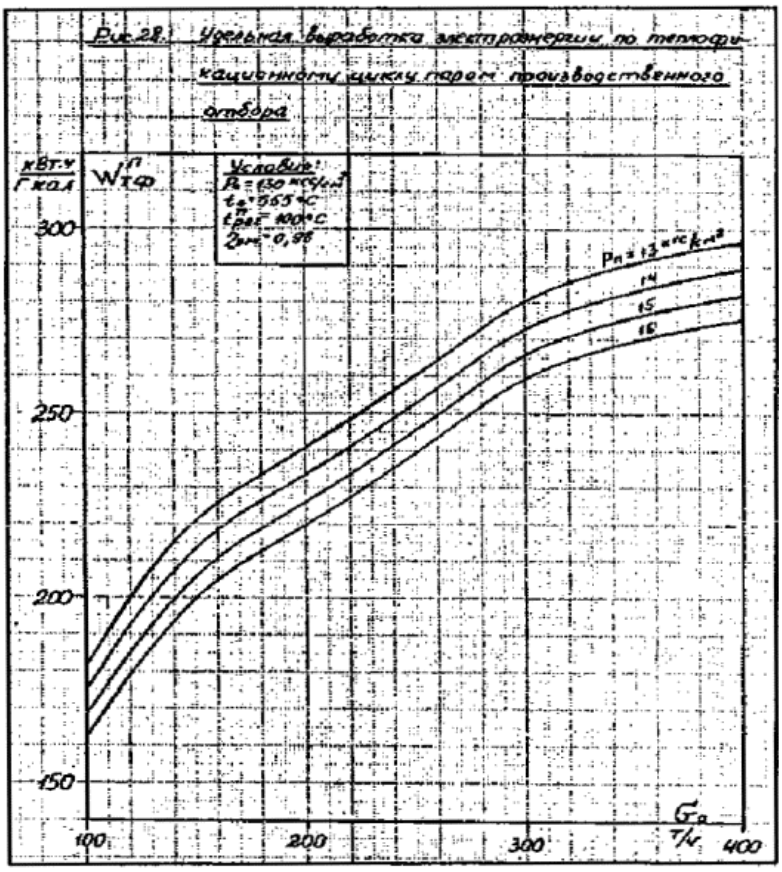
§ 1. Результаты диссертации

Работа посвящена задаче оперативного перераспределения нагрузок между установками ТЭЦ с целью оптимизации топливных затрат. Предложена *методика*, основанная на некотором способе вычисления расходов топлива B в любых режимах турбоустановки (см. ниже (3.11) - (3.14)). Он использует данные об электрической $N_{\text{Э}}$ и тепловой $Q_{\text{Т}}$ мощностях, а также о расходах топлива в трех режимах: номинальном («ном»), базовом («*б*») и конденсационном («к»). Важно заметить, что т.н. базовый режим может быть выбран **произвольно**. От него требуется лишь одно: чтобы можно было перевести установку из базового режим в конденсационный ($Q_{\text{Т}} = 0$), не меняя расход топлива. Таким образом, конденсационный режим также задан неоднозначно. Произвольный режим обозначается индексом «00».

Кроме вышеуказанных, энергетических характеристик турбоустановок, в методике используются температуры $T_{\text{к}}$, T_0 и $T_{\text{отб,j}}$ конденсатора, острого пара и пара в j - м отборе соответственно. В зависимости от типа установки, j может принимать значения, не превышающие 3. Автор нигде не уточняет, в каком именно режиме замеряются эти температуры. Видимо в том, в котором вычисляется расход B, т.е. в режиме 00. Как показано ниже, на самом деле автору не требовались данные о температурах.

Никакие другие характеристики турбоустановок в «методике» не используются, поэтому основная часть технических сведений из таблиц играет исключительно декоративную роль.
К таким **декорациям** относятся таблицы 3.5, 3.6, 4.4 - 4.6 (за исключением сведений о числе отборов пара), схемы ТЭЦ на рис. 3.1 и 3.2, таблицы 1 - 5 в Приложении, таблицы 6 - 13 (за исключением сведений о температурах пара и конденсатора, а также мощностях режимов).

Сказанного уже достаточно, чтобы признать «методику» несостоятельной, поскольку в ней не принимаются во внимание давление и расход пара. При этом методика претендует на учет фактического состояния оборудования с учетом его износа. Важность расхода пара видна, например, из ТЭХ ПТ-65/75-130/13, где дана формула зависимости электрической мощности от тепловой $N_Э = N_к + W^П_{ТФ} \cdot Q_П + W^Т_{ТФ} \cdot Q_Т$ (кВт), коэффициенты $W^П_{ТФ}$ и $W^Т_{ТФ}$ определяются по экспериментальным кривым:



Одновременно следует отметить, что работа нигде не ссылается на типовые энергетические характеристики (ТЭХ) турбоагрегатов, которые являются источниками практических методов решения задач, поставленных в диссертации. Это весьма странно, т.к., в отличие от математических спекуляций автора, все данные из ТЭХ получены в ходе испытаний турбоагрегатов. И если работа претендует на новый, весьма точный метод вычисления расходов газа (см. оценки из п. 3.2.3), к тому же учитывающий фактическое состояние оборудования, то ее результаты следовало сравнить с теми, которые могут быть получены из ТЭХ и методических указаний по расчетам энергетических показателей. Но ничего подобного не было сделано, что, само по себе, дает основание подозревать автора в некомпетентности, а его работу считать неквалифицированной.

Также следует заметить, что работа следует новейшей тенденции, согласно которой кандидатские диссертации пишутся так, как если бы авторы создавали новое на пустом

месте. Автор нигде не выделяет идеи и труды других ученых, которые предшествовали его работе и легли в ее основу. Ссылки на чужие работы носят декоративный характер или используются для саморекламы (утрированно: «было сделано плохо, зато теперь стало хорошо»). Например, на стр. 21 автор пишет: «*Оптимизация режимов работы агрегатов ТЭЦ, с учетом отпуска тепловой энергии, по энергетическим характеристикам оборудования с целью снижения суммарных затрат топлива и повышения эффективности теплофикации и теплоснабжения развита еще недостаточно. Существующие для этого методики распределения тепловых нагрузок не полностью отвечают задачам определения взаимного влияния режимов использования различных типов агрегатов ТЭЦ* [31].» Здесь дана ссылка на доклад автора на конференции в Волжском филиале МЭИ в 2006. Более содержательных аргументов в пользу того, что «*Оптимизация режимов работы агрегатов ТЭЦ … развита еще недостаточно … Существующие для этого методики … не полностью отвечают…»* в диссертации нет. Поскольку, как было отмечено, автор не сравнивал свою методику с существующими, трудно понять: на чем основаны претензии на улучшение ситуации с оптимизацией ТЭЦ ?

Диссертация на соискание ученой степени кандидата наук должна быть научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задачи, имеющей значение для развития соответствующей отрасли знаний, либо изложены новые научно обоснованные технические, технологические или иные решения и разработки, имеющие существенное значение для развития страны.

Чтобы выяснить, удовлетворяет ли диссертация М.М.Султанова этому условию, необходимо выделить задачи или разработки, которые в ней были решены или изложены.

Согласно автореферату:

«*Научная новизна работы заключается в постановке и решении:*

1. *задачи построения матрицы расчетных значений расхода топлива для любого значения выработки электрической и тепловой энергии в регулировочном диапазоне нагрузок с помощью предложенной методики, основанной на использовании трех режимов энергетической характеристики оборудования: номинального, базового и конденсационного для базовых условий;*

2. *задачи оптимального изменения распределения тепловой и электрической энергии между агрегатами ТЭЦ на основе предложенной методики определения энергетической эффективности работы ТЭЦ;*

3. *задачи оперативного и перспективного (прогнозного) планирования режимов загрузки паротурбинного оборудования в условиях выполнения графиков отпуска электроэнергии на*

оптовом рынке электроэнергии и мощности по регулируемым договорам поставки, «на сутки вперед» и балансирующем рынке;

4. *задачи использования разработанной режимной карты и программного комплекса по определению расхода топлива для различных режимов выработки тепловой и электрической энергии с возможностью постоянной корректировкой данных с учетом фактического состояния оборудования.*»

Пункт ***4*** касается использования режимной карты и программного комплекса. Очевидно, что использование результата, само по себе, не является решенной задачей или разработкой. Кроме того, в тексте диссертации и приложениях нет режимных карт. Поэтому нельзя понять, в чем заключается результат – режимная карта. Однако ясно, что это - технический документ, определяющий режим работы турбоустановки и составленный на основании рекомендаций, которые получены с помощью «методики». Таким образом, из пункта ***4*** в качестве результата диссертации можно принять только «программный комплекс». Согласно сказанному на стр. 5 автореферата, последний представляет собой набор EXCEL – таблиц, в которых реализованы расчеты по методике. Поэтому «программный комплекс», будучи инструментом исследования, сам по себе не представляет интереса. Уместно заметить, что термин «программный комплекс», применительно к табличным документам EXCEL, является некорректным, даже если в них используются средства программирования VBA (т.н. макросы). Последние требуют минимум квалификации и не рассчитаны на профессиональные, научно-технические приложения.

Задача из пункта ***3***, на самом деле, не решалась. В § 4.4 автор провел расчет финансового эффекта для Волжской ТЭЦ от экономии топлива, которая предполагается быть полученной от «методики» и произвольно принята в размере 0,8%. Однако то, что касается применения методики в условиях балансирующего рынка, **исчерпывается** оценочным суждением на стр. 130: «*С учетом вышесказанного, предлагаемая методика определения расхода топлива на основе энергетических характеристик позволяет не только решать вопросы планирования будущих режимов загрузки оборудования, но и использоваться для прогнозирования будущих УРУТ на производство тепловой и электрической нагрузок. При этом результаты фактически сложившихся режимов будут ближе к плановым значениям ценовых заявок, что обусловит повышенную достоверность прогноза*».

Оценки маржинального дохода и т.п. вопросы из главы 4 исходят из ожидаемой экономии топлива и не представляют интереса для технических наук. Здесь автор «стучится в открытую дверь», т.к. нет никакой нужды доказывать, что экономия топлива привела бы к улучшению финансовых показателей ТЭЦ.

Таким образом, в пункте ***3*** представлен не результат диссертации, а предложение использовать ее для «*планирования режимов загрузки паротурбинного оборудования… «на сутки вперед» и балансирующем рынке».*

В пункте ***1*** представлена «методика», которая сводится к уравнениям (3.11) – (3.14), а также формулам для вычисления входящих в них коэффициентов $\tilde{\eta}^{б}$ и $\tilde{\eta}^{00}$.

Оптимизация, о которой сказано в пункте ***2*** , основана на формуле (3.15) (см. ниже). Мысль о том, что переброска нагрузки от установки с большей производной от расхода по мощности на установку с меньшей производной приводит к уменьшению расхода, очевидна и не нова. Например, в пособии А.И. Андрющенко, Р.З. Аминова «Оптимизация режимов работы и параметров тепловых электростанций», изданном в 1983, на стр. 23 сказано: «*Очевидно, что наибольшая экономия топлива* ΔB *получается в том случае, когда будут догружаться энергоблоки, имеющие наименьшие (по абсолютной величине) значения приростов* $\frac{\partial B}{\partial N}$». На стр. 133 этой книги: «*Отсюда условием наивыгоднейшего распределения нагрузки между энергоблоками является большая нагрузка блоков, имеющих малые относительные приросты, и разгрузка блоков, имеющих большие относительные приросты топлива …*» В данном случае такими относительными приростами являются коэффициенты $\overline{\beta}$ и $\overline{\chi}$ в формуле (3.15).

Основные результаты, полученные в работе, также перечислены на стр. 132, 133 диссертации. Там к ним добавлены «*возможности совмещения расчетного комплекса и предложенной методики с оперативной технико-экономической и финансовой отчетностью ТЭЦ и генерирующей компании*», которые могут заинтересовать лишь бюрократов. Какая могла быть проблема в том, чтобы отражать в отчетности изменения режимов в соответствии с методикой? Если такие манипуляции с турбоагрегатами полезны и допустимы с точки зрения эксплуатации, то за способом документирования, очевидно, дело не станет. Более существенными являются другие вопросы. Насколько целесообразно «дергать» турбоагрегаты ради экономии газа в доли процента? Автор заявляет об опытно подтвержденной экономии в 0,53%, но превышает ли эта величина погрешность счетчиков расхода газа? На эти, весьма естественные вопросы работа не дает ответа.

Еще одним результатом диссертации на стр. 133 объявлено следующее: «*методика определения энергетической эффективности и оптимизации режимов работы оборудования ТЭЦ внедрена на Волжской ТЭЦ ООО «ЛУК-Ойл Волгоградэнерго» (акт внедрения прилагается) и используется оперативным и инженерно-техническим персоналом*

для эффективного управления агрегатами в условиям выполнения диспетчерские графиков электрических и тепловые нагрузок. «ЛУК-Ойл Волгоградэнерго» планирует внедрение данной методики на всех ТЭЦ Волгоградского региона». Но факт внедрения результатов диссертации по техническим наукам, сам по себе, является не результатом, а необходимым условием для допуска к защите. Но было ли внедрение в производственный процесс?

В Приложениях есть Акт внедрения «методики», подписанный единственным лицом, но он свидетельствует только о факте проведения апробации и о том, что была подтверждена экономия топлива. Нет никаких документальных подтверждений тому, что методика действительно «*используется оперативным и инженерно-техническим персоналом»,* а также тому*,* что *«ЛУК-Ойл Волгоградэнерго» планирует внедрение данной методики на всех ТЭЦ Волгоградского региона*». Учитывая, что автор диссертации работал на Волжской ТЭЦ и имел с ней коммерческие отношения, можно предположить, что формальный «акт внедрения» не сложно было получить. Само внедрение, вероятно, сводится к присутствию на рабочих столах операторов ТЭЦ папки с EXCEL - таблицей, на которую никто не обращает внимания. Во всяком случае, в работе нет свидетельств об обратном, а запутанность и внутренняя противоречивость «методики» не позволяют применять ее на практике (об этом ниже).

Резюмируя обзор результатов диссертации можно утверждать, что, после «усушки» от саморекламы и предложений применения, они сводятся к формулам для расчета расхода газа в произвольном режиме турбоагрегата:

$$B^{00} = \overline{\alpha} + \overline{\beta} \cdot N_{\text{Э}}^{00} + \overline{\chi} \cdot Q_T^{00} \tag{3.11}$$

$$\overline{\alpha} = B^{\text{ном}} - \frac{\widetilde{\eta}^{\,\text{б}} \cdot (B^{\text{ном}} - B^{\text{б}})}{R^{\text{ном}} - R^{\text{б}} - (1 - \widetilde{\eta}^{\,\text{б}}) \cdot (Q_T^{\text{ном}} - Q_T^{\text{б}})} \cdot \left(\frac{N_{\text{Э}}^{\text{нои}}}{\widetilde{\eta}^{\,00}} + Q_T^{\text{ном}} \right) \tag{3.12}$$

$$\overline{\beta} = \frac{\widetilde{\eta}^{\,\text{б}} \cdot (B^{\text{ном}} - B^{\text{б}})}{R^{\text{ном}} - R^{\text{б}} - (1 - \widetilde{\eta}^{\,\text{б}}) \cdot (Q_T^{\text{ном}} - Q_T^{\text{б}})} \cdot \frac{1}{\widetilde{\eta}^{\,00}} \tag{3.13}$$

$$\overline{\chi} = \frac{\widetilde{\eta}^{\,\text{б}} \cdot (B^{\text{ном}} - B^{\text{б}})}{R^{\text{ном}} - R^{\text{б}} - (1 - \widetilde{\eta}^{\,\text{б}}) \cdot (Q_T^{\text{ном}} - Q_T^{\text{б}})} \tag{3.14}$$

Здесь $R^{\text{ном}} = N_{\text{Э}}^{\text{ном}} + Q_T^{\text{ном}}$ и параметр $\widetilde{\eta}^{\,\text{б}}$ определяется формулой (2.35). Параметр $\widetilde{\eta}^{\,00}$ вычисляется в (2.29), которая неявно содержит параметр γ, входящий в коэффициенты K_j :

$$K_j = \frac{1 - T_{\text{к}} / \gamma \text{T}_{\text{отб,j}}}{1 - T_{\text{к}} / T_0} \tag{2.26}$$

Здесь j - порядковый номер отбора пара. Параметр γ играет ключевую роль в работе, но точного определения не имеет (см. **§ 3**). Для вычисления данного параметра даны формулы

(2.32) – (2.34), которые также относятся к результатам диссертации. Из (3.11) следует

$$\Delta B^{00} = \overline{\beta} \cdot \Delta N_{\text{Э}}^{00} + \overline{\chi} \cdot \Delta Q_{T}^{00} \qquad (3.15)$$

Формула (3.15) предложена для оптимизации режимов по расходу топлива (стр. 99 - 100).

§ 2. Математические ошибки

Автор исходит из того, что расход газа является функцией от электрической и тепловой мощностей турбоагрегата ТЭЦ, так что $B = f(N_{\text{Э}}, Q_{\text{Т}})$. Это соответствует применяемым методикам http://www.gosthelp.ru/text/RD340915593Metodicheskieu.html, согласно которым: «*Для режима работы с производственным (отопительным) отбором пара строятся графические зависимости ……. удельного расхода тепла на турбоагрегат от его мощности для различных, принятых с постоянным интервалом значений от нулевого до максимально возможного часового отпуска тепла из производственного (отопительного) отбора …*»

Выкладки начинаются с элементарной формулы:

$$dB = \frac{\partial B}{\partial N_{\text{Э}}} dN_{\text{Э}} + \frac{\partial B}{\partial Q_{T}} dQ_{T} \qquad (2.6)$$

откуда

$$dB = k \cdot \left(\frac{dN_{\text{Э}}}{\widetilde{\eta}} + dQ_{\text{Т}} \right) \qquad (2.7)$$

где

$$k = \frac{\partial B}{\partial Q_{T}} \qquad \widetilde{\eta} = \frac{\partial B}{\partial Q_{T}} \Big/ \frac{\partial B}{\partial N_{\text{Э}}} \qquad (2.8)$$

Вторую из формул (2.8) автор написал неверно – в тексте диссертации дробь перевернута, но дальше она применяется так, как здесь написано. Ниже (2.8) дано пояснение: «*коэффициент* $\widetilde{\eta}$ *характеризует специфику проточной части турбоустановки, ... отражая относительную эффективность отпуска потребителям тепла по сравнению с отпуском электроэнергии*». Коэффициент $\widetilde{\eta} > 0$ занимает центральное место в «методике» и, кроме (2.8), используется в силу явно не указанной формулы

$$\Delta N_{\text{Э}} = \pm \widetilde{\eta} \cdot \Delta Q_{T} \qquad (\text{Д-1})$$

где знак $\pm$ определяется в зависимости от того, меняются ли значения $N_{\text{Э}}$ и $Q_{\text{Т}}$ в одну или в разные стороны. Это ясно, например, из пояснений в первом абзаце на стр. 43: «*Отметим, что коэффициент* $\widetilde{\eta}$ *в соотношении (2.10) однозначно отражает эффективность*

преобразования тепловой энергии в электрическую в конкретной турбине при конкретном переключении (изменении расхода пара на потребителя в конкретном отборе или на совокупности отборов)» и уравнения (2.10), где для подсчета $\Delta N_Э = N_Э^{тек} - N_Э^0$ используется $(Q_T^0 - Q_T^{тек}) \cdot \tilde{\eta}$, а также из формулы $N_Э^к = N_Э^б + Q_T^б \cdot \tilde{\eta}^к$ (2.23). Здесь $Q_T^к = 0$ и при переходе из базового режима в конденсационный мощности $N_Э$ и $Q_Т$ меняются разнонаправленно.

Коэффициент $\tilde{\eta}$, определенный в силу (Д-1), зависит от режима. Он определяется экспериментально и иногда указывается в ТЭХ, хотя обозначается иначе (например K). Диссертация претендует на метод его вычисления, который не нуждается в экспериментах. При этом автор определяет $\tilde{\eta}$ формулой (2.8), которая противоречит (Д-1). Если исходить из (2.8), то при фиксированном, достаточно малом ΔB приближенное равенство (Д-1) справедливо только в том случае, если:

1) приращение любой из мощностей $N_Э$ и Q_T считается в предположении, что другая остается неизменной;

2) расходы топлива в обоих случаях меняются на одну и ту же величину ΔB.

Эти условия вытекают из (2.8) и понятия частной производной. Однако автор игнорирует их, поскольку использует (Д-1) в процессах, где обе мощности меняются одновременно. Например, в переходном процессе I на рис. 2.1. Такое применение (2.8) одновременно с формулой (Д-1) является грубой ошибкой, которая лежит в основе всей работы.

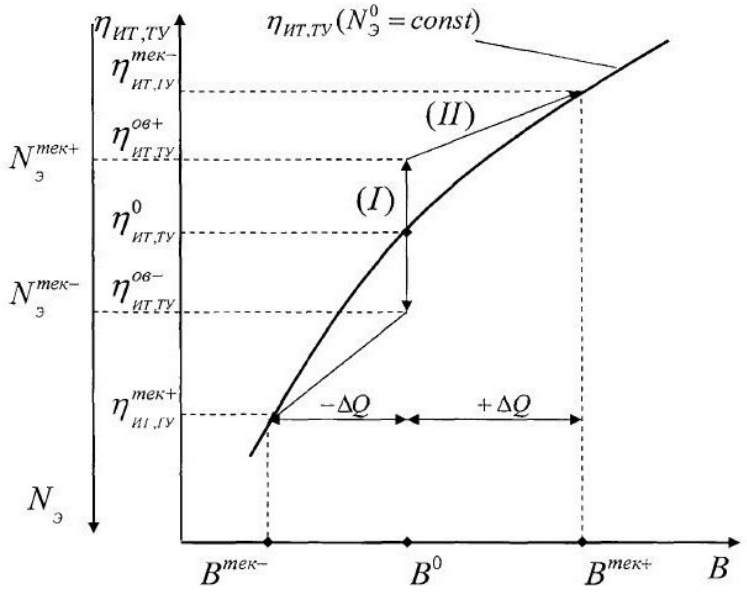


Рисунок 2.1. – Изменение параметров при ΔQ_T и $N_Э^0 = const$.

Математические выкладки вращаются вокруг переходного процесса, который изображен парой стрелок I и II. Вертикальная стрелка I соответствует возрастанию (убыванию)

тепловой мощности от исходного значения Q_T^0 до текущего $Q_T^{\text{тек}}$. Расход топлива при этом остается неизменным, поэтому в процессе I мощность $N_\text{Э}$ должна уменьшиться (увеличиться). На стадии II расход топлива меняется от B^0 до $B^{\text{тек}}$, при этом электрическая мощность возрастает (убывает) до исходного значения $N_\text{Э}^0$, а тепловая мощность остается неизменной, так что $Q_T = Q_T^{\text{тек}}$.

В процессе I расход $B = const$, в силу чего выражение $\widetilde{\eta}$ из (2.8) теряет смысл. В процессе II меняется только $N_\text{Э}$, поэтому числитель дроби (2.8) не определен. Используя приращения $N_\text{Э}$ и Q_T, возникающие при переходе I – II и на любой из двух его ступеней, **нельзя** аппроксимировать величину $\widetilde{\eta}$ из (2.8). Однако автор делает это с помощью (Д-1), небрежно переходя от производных к разностным отношениям. Чтобы понять, как на этом пути возникают противоречия, рассмотрим пару режимов $(N_\text{Э}^0, Q_T)$ и $(N_\text{Э}, Q_T^0)$, близких к некоторому $(N_\text{Э}^0, Q_T^0)$. Переходя к конечным разностям в (2.8) и обозначая $B^N = B(N_\text{Э}^0, Q_T)$, $B^Q = B(N_\text{Э}, Q_T^0)$, получим:

$$\widetilde{\eta} = \frac{\partial B}{\partial Q_T} \Big/ \frac{\partial B}{\partial N_\text{Э}} \approx \frac{B^N - B^0}{Q_T - Q_T^0} \Big/ \frac{B^Q - B^0}{N_\text{Э} - N_\text{Э}^0} = \frac{N_\text{Э} - N_\text{Э}^0}{Q_T - Q_T^0} \cdot \frac{B^N - B^0}{B^Q - B^0} \neq \frac{N_\text{Э} - N_\text{Э}^0}{Q_T - Q_T^0} \qquad \text{(Д-2)}$$

т.к. $B^N \neq B^Q$. В последнем неравенстве левая часть может в разы отличаться от правой, в зависимости от вариаций $N_\text{Э}$ и Q_T (расходы топлива на производство тепловой и электрической мощностей значительно отличаются, также в (Д-2) можно выбирать разные $\Delta N_\text{Э}$ и ΔQ_T, что дает разные ΔВ). Отсюда видно, что (Д-1) грубо противоречит (2.8). Устранить это противоречие за счет малости вариаций невозможно!

Таким образом выкладки, основанные на (2.6), содержат грубые, математические ошибки. Другой источник ошибок указан в **§ 3.** Однако уже сейчас можно доказать, что формула (3.11) является ложной.

Из (3.15) видно, что, по крайней мере, в некоторой окрестности режима «00» коэффициенты $\overline{\alpha}, \overline{\beta}, \overline{\chi}$ считаются константами. Безотносительно к мыслям автора по этому поводу, их можно считать константами в достаточно малой окрестности «00», поскольку возникающая отсюда погрешность имеет высший порядок малости по отношению к отклонению $\sqrt{(\Delta N_\text{Э})^2 + (\Delta Q_T)^2}$. Так и будем считать в последующем рассуждении.

Пусть $\Delta N_э = N_э - N_э^{00}$, $\Delta Q_T = Q_T - Q_T^{00}$ и $\Delta B = B - B^{00}$. Любая аппроксимация

$$\Delta B \approx p \cdot \Delta N_э + q \cdot \Delta Q_T$$

с погрешностью высшего порядка малости по отношению к $\Delta N_э$ и ΔQ_T (в т.ч. точное равенство $\Delta B = p \cdot \Delta N_э + q \cdot \Delta Q_T$) является линеаризацией функции $B = f(N_э, Q_T)$ в окрестности режима $(N_э^{00}, Q_T^{00})$. Последнее означает, что

$$B = B^{00} + p \cdot (N_э - N_э^{00}) + q \cdot (Q_T - Q_T^{00}) + o(\sqrt{(\Delta N_э)^2 + (\Delta Q_T)^2}),$$

где коэффициенты p, q определены *однозначно*. Если порядок малости погрешности не выше, чем $\sqrt{(\Delta N_э)^2 + (\Delta Q_T)^2}$, то такая приближенная, линейная зависимость является неоднозначной и, очевидно, не имеет практического смысла. Следовательно, формула (3.15) должна быть **линеаризацией** функции $B = f(N_э, Q_T)$ вблизи режима $(N_э^{00}, Q_T^{00})$. Вопрос лишь в том, верно ли найдены коэффициенты $\overline{\beta}, \overline{\chi}$?

Выпишем формулу для линеаризации. Для этого в приближенном равенстве

$$\Delta B^{00} \approx \frac{\partial B}{\partial N_э} \Delta N_э^{00} + \frac{\partial B}{\partial Q_T} \Delta Q_T^{00}$$

заменим производные на отношения конечных приращений:

$$\Delta B^{00} \approx p \cdot \Delta N_э^{00} + q \cdot \Delta Q_T^{00} \qquad \text{(Д-3)}$$

$$p = \frac{B^Q - B^{00}}{N_э - N_э^{00}} \quad \text{и} \quad q = \frac{B^N - B^{00}}{Q_T - Q_T^{00}}$$

B^N - расход топлива в любом режиме $(N_э, Q_T^{00})$,

B^Q - расход топлива в любом режиме $(N_э^{00}, Q_T)$,

где оба эти режима близки к $(N_э^{00}, Q_T^{00})$.

Выберем режимы «00» и базовый произвольно, достаточно близко к номинальному, чтобы приращения $\Delta N_э$ и ΔQ_T имели одинаковый знак. Вспомним, что базовый режим выбирается произвольно при одном условии: из него можно перейти в конденсационный режим. Поскольку турбина может перейти из номинального режима в конденсационный (во всяком случае в летний период), то близкий к номинальному режим «б» выбрать можно.

Стоит заметить, что автор применяет (Д-1) для произвольных приращений мощностей, а не только малых. Кроме того, условие номинальности режима, на самом деле, не имеет

существенного значения. Автор нигде не использует технические знания о турбоагрегатах и теплофизику, за исключением спекулятивной попытки ввести параметр γ отклонения температуры пара (**§ 3**). Поэтому условие номинальности режима не используется в выкладках, которые, по существу, являются математическими трюками. В качестве номинального мог фигурировать любой другой режим, на виде формул это бы не отразилось.

Формула (3.12) в тексте диссертации содержит опечатку. Следует убрать квадратные скобки, чтобы исправить ее. Формула (3.12), фактически, выражает $\overline{\alpha}$ через $\overline{\beta}$ и $\overline{\chi}$:

$$\overline{\alpha} = B^{\text{ном}} - \overline{\beta} \cdot N_{\text{Э}}^{\text{ноИ}} - \overline{\chi} \cdot Q_T^{\text{ном}} \qquad \text{(Д-4)}$$

Отсюда тривиально следует, что формула (3.11) дает **точное** значение расхода топлива в номинальном режиме (хотя, как было сказано, в качестве номинального мог фигурировать любой другой режим). Выясним, как обстоит дело с остальными.

С помощью (Д-1) формулу (3.13) перепишем в виде:

$$\overline{\beta} = \frac{B^{\text{ном}} - B^{\text{б}}}{2(\text{Q}_{\text{Т}}^{\text{ном}} - Q_T^{б})} \cdot \frac{1}{\widetilde{\eta}^{00}}$$

Выбирая режимы «б» и «00» как угодно близкими между собой можно считать, что $\widetilde{\eta}^{00} = \widetilde{\eta}^{\text{б}}$. Используя затем $N_{\text{Э}}^{\text{ном}} - N_{\text{Э}}^{\text{б}} = \widetilde{\eta} \cdot (Q_T^{ном} - Q_T^{\text{б}})$, получим :

$$\overline{\beta} \approx \frac{1}{2} \cdot \frac{B^{\text{ном}} - B^{\text{б}}}{N_{\text{Э}}^{ном} - N_{\text{Э}}^{б}} \qquad \text{(Д-5)}$$

Аналогично (3.14) запишем в виде:

$$\overline{\chi} \approx \frac{1}{2} \cdot \frac{B^{\text{ном}} - B^{\text{б}}}{Q_{\text{Т}}^{ном} - Q_T^{б}} \qquad \text{(Д-6)}$$

Сравнивая с (Д-3) видим, что формулы (Д-5) и (Д-6) являются ошибочными. В самом деле,

$$\frac{1}{2} \cdot \frac{B^{\text{ном}} - B^{\text{б}}}{N_{\text{Э}}^{ном} - N_{\text{Э}}^{б}} \approx \frac{1}{2} \cdot \frac{\partial B}{\partial N_{\text{Э}}}(N_{\text{Э}}^{\text{ном}}, Q_T^{ном}) \quad \text{и} \quad \frac{1}{2} \cdot \frac{B^{\text{ном}} - B^{\text{б}}}{Q_{\text{Т}}^{ном} - Q_T^{б}} \approx \frac{1}{2} \cdot \frac{\partial B}{\partial Q_T}(N_{\text{Э}}^{ном}, Q_T^{ном})$$

при том **условии**, что в первом равенстве $B^{\text{б}}$ отвечает близкому режиму, в котором $Q_T = Q_T^{ном}$, а во втором $B^{\text{б}}$ отвечает близкому режиму, в котором $N_{\text{Э}} = N_{\text{Э}}^{ном}$. Ошибки в (Д-5) и (Д-6) возникают не только от множителей $\frac{1}{2}$, но и в силу того, что используется один режим $(N_{\text{Э}}^{\text{б}}, Q_T^{\text{б}})$, тогда как для корректной аппроксимации частных производных необходимы два близких режима. Чтобы понять, к чему это может привести, рассмотрим режим $(N_{\text{Э}}^{\text{б}}, Q_T^{\text{б}}) = (N_{\text{Э}}^{\text{б}}, Q_T^{\text{ном}})$. Тогда из (Д-6) получим, что $\overline{\chi} = \infty$ **!**

Мы получили еще одно свидетельство того, что формула (Д-1), которую автор de'facto применяет, ведет к грубым противоречиям. Однако коэффициенты $\widetilde{\eta}^{б}$ и $\widetilde{\eta}^{00}$ определяются также уравнением (2.8). Причем, в отличии от (Д-1), это определение математически корректно (хотя и противоречит тому, как $\widetilde{\eta}$ интерпретируется в (Д-1)). Выясним: куда нас приведет определение $\widetilde{\eta}$ согласно (2.8) ? Имеем:

$$\widetilde{\eta}^{00} = \frac{\partial B/\partial Q_T}{\partial B/\partial N_Э}(N_Э^{00}, Q_T^{00}) \qquad \widetilde{\eta}^{б} = \frac{\partial B/\partial Q_T}{\partial B/\partial N_Э}(N_Э^{б}, Q_T^{б})$$

Подставляя эти выражения в (3.13) и (3.14), легко получить, что

$$\overline{\beta} \approx \frac{\dfrac{\partial B}{\partial Q_T}(N_Э^{б}, Q_T^{б})}{\dfrac{\partial B}{\partial Q_T}(N_Э^{00}, Q_T^{00})} \cdot \frac{\partial B}{\partial N_Э}(N_Э^{00}, Q_T^{00}) \qquad \overline{\chi} \approx \frac{\partial B}{\partial Q_Т}(N_Э^{б}, Q_T^{б}) \qquad \text{(Д-7)}$$

с погрешностью порядка $o(\sqrt{(\Delta N_Э)^2 + (\Delta Q_T)^2})$.

Из (Д-7) видно, что в случае нелинейной зависимости $B = f(N_Э, Q_T)$ формулы (3.11) - (3.15) приводят к ложным результатам. В самом деле, поскольку (3.15) должна быть линеаризацией $B = f(N_Э, Q_T)$ в окрестности режима «00» (об этом на стр. 10), то верные значения коэффициентов будут следующими:

$$\overline{\beta} = \frac{\partial B}{\partial N_Э}(N_Э^{00}, Q_T^{00}) \qquad \overline{\chi} = \frac{\partial B}{\partial Q_Т}(N_Э^{00}, Q_T^{00}) \qquad \text{(Д-8)}$$

Осталось перейти к простой формуле (Д-3), где числа p, q аппроксимируют $\overline{\beta}, \overline{\chi}$ из (Д-8). Вместе с тем видно, что формулы (Д-7) и (Д-8) существенно **различные**.

В случае близких режимов «00», «б» и «*ном*», подстановка значений (Д-7) в формулы (3.11) или (3.15) может привести к приемлемой погрешности порядка $o(\sqrt{(\Delta N_Э)^2 + (\Delta Q_T)^2})$. Однако, в таком случае задача практического вычисления функции $B = B(N_Э, Q_T)$ точнее и проще решается с помощью элементарной формулы (Д-3). При этом автор предлагает методы вычисления $\widetilde{\eta}^{б}$ и $\widetilde{\eta}^{00}$, основанные на квази-теплофизических рассуждениях, которые ошибочны и даже абсурдны (**§ 3**). Поэтому «методика» не позволяет получить верный результат даже в случае малых возмущений режима. О том, как именно расчетные значения расходов были подогнаны под результаты их замеров, написано в **§ 3**.

Как видно из таблиц (3.7) и (3.8), автор рассматривает режимы, которые достаточно

далеки друг от друга. Нигде не сказано о том, что предлагаемая «методика» рассчитана на локальное применение - в малой окрестности номинального или иного режима (хотя в процессе выкладок предполагается $|\Delta B| << B$). Из текста видно, что автор претендует на глобальную формулу (3.11), которая позволяет вычислять расходы газа при любых режимах турбоагрегатов. В такой постановке (3.11) - (3.15) могут дать ложный результат, даже если не прибегать к абсурдным рецептам для $\widetilde{\eta}^{б}$ и $\widetilde{\eta}^{00}$ (**§ 3**) и вычислять эти коэффициенты непосредственно из (2.8) через конечные разности.

§ 3. Подгонка результатов

В работе предложены рецепты вычисления коэффициентов $\widetilde{\eta}^{б}$ и $\widetilde{\eta}^{00}$, в которых ключевую роль играет параметр γ. Он возникает на стр. 47, где дано философское определение: «*поправочный коэффициент, корректирующий термодинамическую модель в режимах данной турбины*». Какую термодинамическую модель и как он корректирует?
В автореферате сказано, что: «γ *- коэффициент отклонения теплофизических параметров отбора пара от номинальных*».

Очевидно, что автор сам придумал параметр γ. Единственная, адекватная контексту интерпретация заключается в том, что $\gamma T_{\text{отб,j}}$ - это температура пара j - го отбора. Поэтому для разных отборов пара γ должно быть разным. Однако, согласно (2.32) – (2.34), значение γ не зависит от j. Автор вводит еще один параметр, содержательный смысл которого не поясняется:

$$K_j = \frac{1 - T_к / \gamma T_{\text{отб},j}}{1 - T_к / T_0} \qquad (2.26)$$

Единственное высказывание на стр. 88, которое касается K_j, ничего не проясняет: «*Поправочные коэффициенты на изменение параметров пара в проточной части турбины от входа до точки отбора К1 (промышленный отбор), К2 (верхний отопительный отбор), К3 (нижний отопительный отбор) определяются по формуле …*» Автор приводит значения *К1, К2, К3* в таблицах с параметрами режимов (таб. 3.2, таб. 6 – 12 приложений), но в тексте нет значений γ, которые позволили бы проверить вычисления и понять, как получились эти коэффициенты.

Единственное место, где даны значения γ, это конец стр. 80 – начало стр. 81. Например, для ПТ-65-130 там указано $\gamma = 0{,}745$. Перед таб. 3.2 указаны температура острого пара 525 град. С и конденсатора 33 град. С. Исходя из этих данных, в силу (2.26) получится

температура промотбора в 375 град. С. Ясно, что она слишком велика: в таблицах 6, 10 приложения температуры промотбора ниже на 70 – 100 градусов во всех режимах ПТ-65-130.

Рассуждения, в которых фигурирует γ, основаны на уравнении (2.24). Его происхождение не поясняется, за исключением ритуальной фразы «*примем в модельном представлении*». Учитывая (Д-1), (2.25) и (2.26), формулу (2.24) запишем в следующем виде:

$$\Delta Q_T \cdot \tilde{\eta}^{00} = \Delta N_Э = \overline{\eta}_0 \cdot \sum_{j=1}^{m} \frac{1 - T_к / \gamma T_{отб,j}}{1 - T_к / T_0} \cdot \Delta Q_{Tj} \qquad (Д\text{-}9)$$

О коэффициенте $\overline{\eta}_0$ сказано, что он отражает интегральную эффективность проточной части турбины. Попробуем понять: какие соображения привели автора к (Д-9) ?

Пусть $\Delta\widetilde{Q}_j$ и $\Delta\widetilde{Q}$ - «брутто»-приращения тепла, доставшиеся *j* - му отбору и установке в целом. Если принято

$$1 - T_к / \gamma T_{отб,j} \approx \frac{\Delta Q_{Tj}}{\Delta\widetilde{Q}_{Tj}} \quad , \quad 1 - T_к / T_0 \approx \frac{\Delta Q_T}{\Delta\widetilde{Q}_T} \quad \text{и} \quad \frac{\Delta Q_{Tj}}{\Delta\widetilde{Q}_{Tj}} \approx 1 \ , \ \text{то}$$

$$\overline{\eta}_0 \cdot \sum_{j=1}^{m} \frac{1 - T_к / \gamma T_{отб,j}}{1 - T_к / T_0} \cdot \Delta Q_{Tj} \approx \sum_{j=1}^{m} \frac{\Delta Q_{Tj}}{\Delta\widetilde{Q}_{Tj}} \cdot \frac{\Delta Q_{Tj}}{\Delta Q_T} (\overline{\eta}_0 \cdot \Delta\widetilde{Q}_T) \approx \sum_{j=1}^{m} \Delta Q_{Tj} \cdot \frac{1}{\Delta Q_T} (\overline{\eta}_0 \cdot \Delta\widetilde{Q}_T) = \overline{\eta}_0 \cdot \Delta\widetilde{Q}_T$$

Получено правдоподобное соотношение $\Delta N_Э \approx \overline{\eta}_0 \cdot \Delta\widetilde{Q}_T$. По-видимому, автор пришел к (2.24) именно таким путем. Легко заметить грубые ошибки.

1) Идеальный КПД не применяется в расчетах паровых турбин, т.к. используется цикл Ренкина, а не Карно.

2) Принимая $\Delta Q_{Tj} / \Delta\widetilde{Q}_{Tj} = 1$, автор фактически полагает КПД = 100%, но не считает, что $T_к = 0$ (по шкале Кельвина). Вследствие такого трюка погрешность будет иметь порядок вычисляемой мощности.

3) Не учтены потери энергии в электрогенераторе.

4) Ниоткуда не следует, что коэффициент $\overline{\eta}_0$ является константой, однако он вычисляется в таком предположении (2.27).

Рассуждения, которые привели автора к (2.24), были слишком грубыми. Сама идея этой формулы является **надуманной**. Она не выражает никаких физических закономерностей и не связана с техническими особенностями турбоагрегата. В (2.24) впервые возникает параметр γ, выражающий отклонение температуры пара в отборах (одинаковый во всех отборах, как

ни странно). В дальнейшем автор получает формулу (2.32) для этого параметра, используя (2.24) и исключительно математические манипуляции. При этом совершается новая ошибка. Она проявляется в том, что в некоторых из формул (2.34), а также в (2.35) температуры пара $T_{\text{отб,j}}$ фигурируют без множителя γ. Ясно, что это противоречит физическому смыслу данного параметра. Покажем, как возникла эта ошибка. Согласно (2.35) имеет место:

$$\widetilde{\eta}^{\,\text{б}} = Z_6 \cdot \left(1 - \sum_{i=1}^{n} \frac{T_{\text{к}}}{T_{\text{отб,i}}} \cdot (\Delta Q_{Ti}^{\text{б}})^*\right) = \frac{N_{\text{Э}}^{\text{ном}} - N_{\text{Э}}^{\text{б}}}{\text{Q}_{\text{Т}}^{\text{б}}} \cdot \frac{1 - \sum_{i=1}^{n} \frac{T_{\text{к}}}{T_{\text{отб,i}}} \cdot (\Delta Q_{Ti}^{\text{б}})^*}{1 - \sum_{i=1}^{m} \frac{T_{\text{к}}}{\gamma T_{\text{отб,i}}} \cdot (Q_{Ti}^{\text{б}})^*} \qquad \text{(Д-10)}$$

Формула для $\widetilde{\eta}^{\,\text{б}}$ следует из (2.24), где в качестве режима «00» следует взять «б». Тогда, с учетом (2.28), получаем:

$$\widetilde{\eta}^{\,\text{б}} = (N_{\text{Э}}^{\text{к}} - N_{\text{Э}}^{\text{б}}) \cdot \frac{\sum_{j=1}^{n} K_j \cdot \Delta Q_{Tj} / \Delta Q_T}{\sum_{j=1}^{m} K_j \cdot Q_{Tj}^{\text{б}}} = \frac{N_{\text{Э}}^{\text{к}} - N_{\text{Э}}^{\text{б}}}{Q_T^{\text{б}}} \cdot \frac{1 - \sum_{i=1}^{n} \frac{T_{\text{к}}}{\gamma T_{\text{отб,i}}} \cdot (\Delta Q_{Ti}^{\text{б}})^*}{1 - \sum_{i=1}^{m} \frac{T_{\text{к}}}{\gamma T_{\text{отб,i}}} \cdot (Q_{Ti}^{\text{б}})^*} \qquad \text{(Д-11)}$$

Аналогичным образом автор получил формулу (2.29) для коэффициента $\widetilde{\eta}^{\,00}$. Сравнивая (Д-10) и (Д-11) видим, что вместо $N_{\text{Э}}^{\text{к}}$ ошибочно взято $N_{\text{Э}}^{\text{ном}}$, и в числителе (Д-10) потерян множитель γ перед $T_{\text{отб,j}}$. Формулы (2.32) – (2.34) получены подстановкой выражения (2.35) для $\widetilde{\eta}^{\,\text{б}}$ в уравнение, которое следует из (2.19) и (2.20). Поскольку (2.35) содержит ошибки, то и формулы (2.34) неверны**.**

Если исправить эти математические ошибки, то полученные из (2.24) результаты не перестанут быть спекулятивными. Вызывает недоумение сама попытка вычислить показатель отклонения температуры пара, используя надуманное «модельное представление» (2.24), математические трюки и данные о трех режимах, один из которых выбирается произвольно.

Таким образом, методы вычисления коэффициентов $\overline{\beta}, \overline{\chi}$ в центральной формуле (3.11) являются ошибочными. Однако, в таблицах (3.7) и (3.8) собраны данные расчетов расходов газа в различных режимах турбоагрегатов, которые хорошо согласованы с реальными замерами. Возникает вопрос: как это произошло?

Фактически, автор использовал линейную зависимость

$$B^{00} = \overline{\alpha} + \overline{\beta} \cdot N_{\text{Э}}^{00} + \overline{\chi} \cdot Q_T^{00} \qquad (3.11)$$

где коэффициенты $\overline{\alpha},\overline{\beta},\overline{\chi}$ являются **константами.** Значения $\overline{\beta},\overline{\chi}$ были подогнаны так, чтобы обеспечить хорошее попадание в расходы, измеренные счетчиком расхода газа. При этом число $\overline{\alpha}$ определяется в силу (Д-4), что обеспечивает точное совпадение расчетного и реального расхода в номинальном режиме (относительно которого расход известен). Исходя из данных о расходах в номинальных режимах турбоагрегатов, можно распределить между ними общий расход газа по ТЭЦ (который измеряется счетчиком). Очевидно, что так будет получено распределение расхода газа между турбоагрегатами, которое близко к реальному. Теперь следует подогнать значения $\overline{\beta},\overline{\chi}$ для каждого турбоагрегата так, чтобы формула (3.11) давала хорошую, линейную аппроксимацию зависимости $B = f(N_Э, Q_T)$ в окрестности номинального режима. Для этого нужно подобрать значения $\overline{\beta},\overline{\chi}$ из условия:

$$\overline{\beta} \approx \frac{\partial B}{\partial N_Э}(N_Э^{ном}, Q_T^{ном}) \qquad \overline{\chi} \approx \frac{\partial B}{\partial Q_Т}(N_Э^{ном}, Q_T^{ном}) \qquad \text{(Д-12)}$$

Значения производных в (Д-12) неизвестны, т.к. не известна зависимость $B = f(N_Э, Q_T)$. Однако, формулы (Д-12) показывают, что подобрать значения $\overline{\beta},\overline{\chi}$ **возможно**. Практически можно взять два режима с известными расходами (см. выше, как получить расходы), после чего подогнать коэффициенты из условия попадания в эти значения. Последнее равносильно решению системы линейных уравнений с двумя неизвестными, т.е., тривиально.

Полученная таким образом линеаризация $B = f(N_Э, Q_T)$ может давать хорошее приближение не только малой окрестности номинального режима, но и для не близких к номинальному режимов. Дело в том, что реальные зависимости $B = f(N_Э, Q_T)$ близки к линейным. Например, согласно ТЭХ турбоагрегата ПТ-80/100-130/13 http://snipov.net/database/c_4294966483_mod_4294851288.html полный расход теплоты при заданных условиях в Гкал/ч выражается формулой:

$$Q0 = qт \cdot 10\text{-}3 \cdot Nт + Qп + Qт \qquad \text{(Д-13)}$$

Поскольку расход газа пропорционален расходу теплоты, имеем линейную зависимость $B = f(N_Э, Q_T)$. При этом удельный расход теплоты при заданных условиях в ккал/(кВт · ч) вычисляется согласно ТЭХ по формуле qт = qтн(1 + Σαqт/100), где αqт - поправки к удельному расходу теплоты qтн на отклонение условий от номинальных, выраженные в % и вычисляемые согласно ТЭХ. Следует заметить, что эти поправки весьма незначительны и не превышают ~1 %.

Таким образом, если рассматривать режимы с близкими условиями, то зависимость $B = f(N_Э, Q_T)$ можно считать линейной. Если условия не близки между собой, то все равно

погрешность будет незначительной. Следовательно, формула (3.11) при условиях (Д-4) и (Д-12) дает хорошее, линейное приближение зависимости $B = f(N_Э, Q_T)$. О способе подгонки коэффициентов $\overline{\beta}, \overline{\chi}$ сказано выше. Одновременно мы видим, что математические спекуляции этой работы не имели практического смысла.

В таб. 3.7, 3.8 на множестве примеров демонстрируется хорошее попадание расчетных данных, полученных по формуле (3.11), в фактические значения расхода B^{00} на установках Волжской ТЭЦ. Однако, в диссертации отсутствуют формулы и параметры, по которым проводились вычисления. Такими отсутствующими параметрами являются $N_Э$, Q_T и расход B базового режима и конденсационного при $N_Э^к = N_Э^б + Q_T^б$. Как уже отмечалось, базовый режим может быть выбран произвольно.

В тексте нет сведений о базовых режимах, использованных для вычисления таблиц 3.7, 3.8. Вместо этого даны подробные характеристики турбин, хотя «методика» использует только номинальные значения $N_Э$, Q_T и B, а также температуры пара. Данные о температурах пара неполны – нет сведений о теплофикационном отборе. Только в таб. 3.2 даны сведения о базовом режиме для 4-х турбин, но из-за неоднозначности базовых режимов трудно понять: связаны ли они с теми, что применялись при вычислениях таблиц 3.7 и 3.8 ? Даже если предположить, что это - «те самые» базовые режимы, то все равно остались турбоагрегаты, необходимых данных о которых нет (при изобилии других технических характеристик).

Таким образом, проверить вычисления с достаточной точностью **невозможно**. Даже если выполнить проверку, задав каким-то образом параметры базовых режимов, то автор будет иметь возможность заявить, что он использовал другие базовые режимы.

Однако можно доказать, что автор **не применял** свою «методику» при вычислениях расходов из таблиц 3.7 и 3.8. Для этого рассмотрим вариант 1.1. из п/п 1 таблицы 3.12 (см. ниже). Непосредственно проверяется, что соответствующая формула (3.11) дает хорошее попадание в данные из таблиц 3.7 и 3.8, касающиеся ПТ-65-130. Погрешности не превышают ~1%. Отсюда видно, что в ходе вычислений автор de'facto использовал зависимость (3.11) с постоянными коэффициентами, хотя возможно, что они незначительно варьировались. О существенном различии формул (3.11) в таблице 3.12 сказано ниже.

Табл. 1. Аналитическая зависимость B^{00} для исследованных вариантов режимов работы турбоустановок.

№ п/п	Тип турбоустановки	Вариант	Исходный режим			Расход топлива	Значение $\tilde{\eta}^{00}$
			$N_Э^0$	$Q_П^0$	Q_T^0	B^{00}	
			МВт	МВт	МВт		
1	ПТ-65-130	1.1	35	23,26	23,26	$B^{00}=0{,}9303+0{,}0694\cdot N_Э^{00}+0{,}0147\cdot Q_T^{00}$	0,2116
		1.2	45	46,52	34,89	$B^{00}=0{,}8462+0{,}0707\cdot N_Э^{00}+0{,}0147\cdot Q_T^{00}$	0,2077
		1.3	55	46,52	46,52	$B^{00}=1{,}1150+0{,}0666\cdot N_Э^{00}+0{,}0147\cdot Q_T^{00}$	0,2206
		1.4	65	69,78	34,89	$B^{00}=0{,}2676+0{,}0796\cdot N_Э^{00}+0{,}0147\cdot Q_T^{00}$	0,1845
2	ПТ-135-130	2.1	75	58,15	93,04	$B^{00}=3{,}7017+0{,}0587\cdot N_Э^{00}+0{,}0151\cdot Q_T^{00}$	0,2577
		2.2	90	116,30	69,78	$B^{00}=1{,}9855+0{,}0714\cdot N_Э^{00}+0{,}0151\cdot Q_T^{00}$	0,2118
		2.3	105	0	69,78	$B^{00}=3{,}7017+0{,}0587\cdot N_Э^{00}+0{,}0151\cdot Q_T^{00}$	0,2577
		2.4	120	116,30	93,04	$B^{00}=2{,}7344+0{,}0658\cdot N_Э^{00}+0{,}0151\cdot Q_T^{00}$	0,2297
3	Т-50-130	3.1	40	-	69,78	$B^{00}=1{,}0501+0{,}0593\cdot N_Э^{00}+0{,}0102\cdot Q_T^{00}$	0,1720
		3.2	40	-	58,15		
		3.3	50	-	81,41		
		3.4	50	-	69,78		
4	Т-100-130	4.1	40	-	23,26	$B^{00}=1{,}0284+0{,}0708\cdot N_Э^{00}+0{,}0084\cdot Q_T^{00}$	0,1182
		4.2	70	-	46,52		
		4.3	85	-	93,04		
		4.4	100	-	69,78		

Таблица 3.12, в автореферате она имеет номер 1.

Используем данные об установке ПТ-65-130 из таблицы 3.2. Следует еще раз подчеркнуть, что таб. 3.2 – это единственное место в диссертации, где даны сведения о базовых режимах для реальных турбоагрегатов. Все мощности выражаются в МВт, расходы газа в нм/с:

$Q_T^{б}=93{,}04$ $Q_{T1}^{б}=58{,}15$ $Q_{T2}^{б}=34{,}89$ $N_{Э,}^{б}=49$ $N_Э^{ном}=65$ $Q_T^{ном}=162{,}82$ $N_{Э,}^{к}=60$

$B^{ном}=7{,}832$ $B^{б}=4{,}954$ $K_1=0{,}594$ $K_2=0{,}291$

С помощью формулы (2.29) находим:

$$\tilde{\eta}^{00}=(N_Э^{к}-N_Э^{б})\cdot\frac{K_1(Q_{T1}^{00}-Q_{T1}^{б})+K_2(Q_{T2}^{00}-Q_{T2}^{б})}{(K_1Q_{T1}^{б}+K_2Q_{T2}^{б})\cdot(Q_T^{00}-Q_T^{б})}=0{,}1276 \qquad \text{(Д-14)}$$

где $Q_{T1}^{00}=Q_{T2}^{00}=23{,}26$ и $Q_T^{00}=46{,}52$. Согласно (3.12) и (3.12), из вар. 1.1 таб. 3.12 имеем:

$$\tilde{\eta}^{00}=\frac{\overline{\chi}}{\overline{\beta}}=0{,}2118$$

Однако, полученное из (2.29) число оказалось меньше почти на 40% ! Чтобы получить и $\overline{\chi}=0{,}0147$ из вар. 1.1 таб. 3.12, необходимо принять (Д-14) и следующее значение:

$$\tilde{\eta}^{б}=0{,}1268$$

Оно существенно меньше числа $\frac{N_Э^{ном}-N_Э^{б}}{Q_T^{б}}=0{,}172$ и, очевидно, еще меньше значения $\tilde{\eta}^{б}$, которое получается из формулы (2.35).

Вывод: при получении формул расходов B^{00} из таблицы 3.12 автор **не применял** (2.29) и (3.35) для вычисления коэффициентов $\widetilde{\eta}^{00}$ и $\widetilde{\eta}^{б}$, как того требует «методика». Значения данных коэффициентов были подогнаны, чтобы обеспечить хорошее попадание в замеры расходов газа, которое демонстрируется в таблицах 3.7 и 3.8.

Заметим, что параметр $\overline{\alpha}$ определяется из формулы (Д-4), поэтому (3.11) дает точное значение расхода в номинальном режиме. Например, для вар. 1.1 таб. 3.12 из (Д-4) получается $\overline{\alpha} = 0{,}9293$, что близко к значению $0{,}9303$ из таблицы.

Однако возникает вопрос: если автор de'facto применял линейную зависимость $B = f(N_Э, Q_T)$ при вычислениях таблиц 3.7 и 3.8, то как возникли существенно разные формулы в таб. 3.12 ? Сильнее всего от варианта 1.1 отличается формула из вар. 1.4. Можно проверить, что она дает значения расходов газа, которые существенно отличаются от указанных в таб. 3.7 и 3.8. Например, для пунктов 1, 5 и 10 в таб. 3.7 погрешности формулы из вар. 1.4 по отношению к табличным данным составляют 10,3%, 11,2% и 8% соответственно. Для пункта 1 таб. 3.8 погрешность равна 8,5%. Уместно заметить, что обещанный эффект экономии топлива близок к 1%.

Таким образом, данные из таб. 3.7 и 3.8 не коррелируют с таб. 3.12 в целом и, следовательно, **не подтверждают** правильность методики. Это также свидетельствует о том, что автор не использовал свою «методику», а подгонял расчеты под данные о расходах газа.

В таблице 3.3, которая содержит те же самые режимы, что и таб. 3.12, демонстрируется отличное совпадение расчетных расходов топлива с фактическими. Однако, режимы из таб. 3.3 не встречаются в таб. 3.7. и 3.8, в которых собраны результаты многочисленных и круглосуточных измерений в январе и февраля 2010. Когда были замерены расходы топлива в таб. 3.3 и когда турбоагрегаты работали в таких режимах? Ответов в диссертации нет. Мне остается лишь предположить, что сведения о фактических расходах из таб. 3.3 являются **подтасовкой**.

Добавим сюда явные противоречия, которые содержатся в таблицах 1 и 2 автореферата (таблица 1 дана выше).

№ п/п	Тип турбоустановки	Величина изменения нагрузки	Исходный режим				Оптимизированный режим				Эффект в топливе
			$N_э^0$	$Q_п^0$	$Q_т^0$	B^{00}	$N_э^0$	$Q_п^0$	$Q_т^0$	B^{00}	
		МВт	МВт	МВт	МВт	тыс.нм3/ч	МВт	МВт	МВт	тыс.нм3/ч	тс.нм3/ч
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	ПТ-65-130	-25,42	26,900	42,361	59,416	16,245	26,900	16,944	59,416	15,104	
	ПТ-135-130	24,94	85,500	116,394	103,480	42,484	85,500	141,336	103,480	42,764	
	Т-100-130		103,200		144,941	34,661	103,200		144,941	34,661	
	РОУ-13			33,102		3,888		33,102		3,888	
	Сумма		***215,600***	***191,858***	***307,838***	***97,278***	***215,600***	***191,383***	***307,838***	***96,418***	***0,860***
2	ПТ-65-130		30,600	16,944	54,655	15,227	30,600	16,944	54,655	15,227	
	ПТ-135-130	10,00	80,200	128,865	81,530	39,375	90,200	128,865	81,530	41,916	
	Т-100-130	-10,00	107,000		120,784	36,234	97,000		120,784	31,368	
	РОУ-13			34,204		4,018		34,204		4,018	
	Сумма		***217,800***	***180,014***	***256,969***	***94,853***	***217,800***	***180,014***	***256,969***	***92,528***	***2,325***
3	ПТ-65-135	-5,00	41,800	33,289	69,179	19,969	36,800	33,289	69,179	18,884	
	ПТ-135-135	5,00	116,500	164,667	153,303	63,092	121,500	164,667	153,303	62,028	
	Т-100-135		92,700		192,326	33,034	92,700		192,326	33,034	
	РОУ-13			0,000		0,000		0,000		0,000	
	Сумма		***251,000***	***197,956***	***414,808***	***116,095***	***251,000***	***197,956***	***414,808***	***113,946***	***2,150***
4	ПТ-65-130	-10,00	59,000	101,065	36,235	23,442	49,000	101,065	36,235	17,765	
	Т-100-130 -6		108,000		136,812	36,383	108,000		136,812	36,383	
	Т-100-130-7	10,00	89,000		144,732	30,842	99,000		144,732	33,303	
	РОУ-13			36,222		4,389		36,222		4,389	
	Сумма		***256,000***	***137,287***	***317,779***	***95,056***	***256,000***	***137,287***	***317,779***	***91,841***	***3,215***
5	ПТ-65-130	-10,00	55,000	91,267	23,518	22,780	45,000	91,267	23,518	18,617	
	Т-100-130 -6	5,00	97,000		172,118	33,697	102,000		172,118	34,826	
	Т-100-130-7	5,00	95,000		190,026	33,512	100,000		190,026	34,914	
	РОУ-13			45,152		5,471		45,152		5,471	
	Сумма		***247,000***	***136,418***	***385,662***	***95,460***	***247,000***	***136,418***	***385,662***	***93,828***	***1,632***

Таблица 2 из автореферата.

Согласно пп. 3 таб. 2, при переходе в оптимизированный режим установка ПТ-135-135 снижает расход топлива с 63,092 тыс. куб.м/час до 62,028 тыс. куб.м/час вопреки тому, что электрическая мощность возрастает на 5 МВт при неизменной тепловой нагрузке. Ясно, что данный результат **абсурден**.

Другое противоречие содержится в пп. 1 таб. 2. Тепловая мощность перераспределяется так, что ПТ-65-130 разгружается на 25,42 МВт, а ПТ-135-130 догружается на 24,94 МВт. Согласно таб. 1, где $\overline{\beta}$ этих установок равны 0,0147 и 0,0151 соответственно, «методика оптимизации» требует обратных действий.

§ 4. Апробация

В параграфе 2.4 описаны численные эксперименты. Приняв значения $\widetilde{\eta}^{00} = \widetilde{\eta}^{б} = \widetilde{\eta}^{к} = 0{,}5$, автор избавился от необходимости использовать формулы (2.29), (2.32) – (2.35), которые представляют собой «know how» его методики. При этом ключевой, поправочный коэффициент γ не вычисляется.

Я не проверял истинность формул (2.46) – (2.48), однако полученные из них результаты трудно интерпретировать. На стр. 64 принимается, что $N_{\text{Э}}^{б} = 0{,}6 \cdot N_{\text{Э}}^{\text{ном}}$ и $Q_{\text{Т}}^{б} = 0{,}5 \cdot Q_{\text{Т}}^{\text{ном}}$. В ходе итерационных вычислений были получены расходы топлива для вымышленных турбоустановок, которые выглядят завышенными: $B^{\text{б}} = 0{,}729 \cdot B^{\text{ном}}$, $B^{\text{б}} = 0{,}685 \cdot B^{\text{ном}}$ и $B^{\text{б}} = 0{,}619 \cdot B^{\text{ном}}$ (стр. 65). При любом способе усреднения затрат газа на выработку электрической и тепловой мощностей, расход на установку в целом не должен превышать $0{,}6 \cdot B^{\text{ном}}$. Это безусловно верно в параграфе 2.4, где коэффициент $\tilde{\eta}$ является константой.

Автор вряд ли осознает, что получил линейный случай, но это видно из таблиц 2.2 - 2.4. В каждой из них содержится одна ошибка, связанная с расходом при $Q_T^{00} = Q_T^{\text{б}}$ и $N_{\text{Э}}^{00} = 0$:

- в таб. 2.2 ошибка в левом из чисел $0{,}603$
- в таб. 2.3 ошибка в левом из чисел $0{,}528$
- в таб. 2.4 ошибка в левом из чисел $0{,}414$ в средней строке

Согласно этим таблицам, в случае $Q_T = const = Q_T^{\text{б}}$ при возрастании $N_{\text{Э}}$ от нуля до $0{,}25 \cdot N_{\text{Э}\backslash}^{\text{ном}}$ расход топлива не меняется. Данный результат является абсурдным. За исключением этой ошибки, в таб. 2.2 – 2.4 отображается линейная зависимость $B = f(N_{\text{Э}}, Q_T)$.

Таким образом, численные эксперименты из параграфа 2.4 не вызывают доверия и не могут быть приняты, как подтверждающие правильность «методики».

Единственный, активный эксперимент был проведен согласно Протоколу, подписанному автором и начальником ПТО Волжской ТЭЦ (таб. 4.7 на стр. 115). В ходе данного теста 5 МВт мощности были переброшены с установки ПТ-65-130 на более мощную Т-100-130-7. Других изменений в работе ТЭЦ не происходило. Совершенно естественно, что удалось сэкономить топливо за счет незначительной переброски нагрузки с менее мощного на более мощный агрегат. Хорошее совпадение активного эксперимента с расчетным предсказанием экономии топлива (0,53%), о котором пишет автор, не подтверждается протоколом испытания. Протокол подтверждает только факт снижения расхода на 0,53%. Фраза: «*как выяснилось, согласно Методике*» не говорит о том, что проводилась экспертиза собственно методики. По-видимому, ее единственным «испытателем» был сам автор.

Таблица 4. Результаты расчета расходов топлива для различных режимов работы ТЭЦ

Время	Тип турбоустановки	Исходный режим			Расход топлива	
					Расчетный	Расчетный
		$N_Э^0$	$Q_П^0$	$Q_Г^0$	секундный	часовой
		МВт	МВт	МВт	нм3/с	тыс.нм3/ч
12:00	ПТ-65-130 (ст. №2)	52,000	91,945	28,744	5,812	20,92
	Т-100-130 (ст. №6)	107,000		128,914	10,005	36,02
	Т-100-130 (ст. №7)	96,000		144,035	9,009	32,43
	К - 5				2,000	7,20
	РОУ-13		45,402		1,514	5,45
	Сумма	***255,000***	***137,347***	***301,694***	***28,340***	***102,02***
Оптим..	ПТ-65-130 (ст. №2)	47,000	91,945	28,744	5,273	18,98
	Т-100-130 (ст. №6)	107,000		128,914	10,005	36,02
	Т-100-130 (ст. №7)	101,000		144,035	9,389	33,80
	К - 5				2,000	7,20
	РОУ-13		45,402		1,514	5,45
	Сумма	***255,000***	***137,347***	***301,694***	***28,182***	***101,45***

Данные из таб. 4 протокола противоречат пп. 5 таб. 2 из автореферата, где фигурируют те же установки. Там электрическая мощность ниже на 8 МВт, а тепловая мощность выше более, чем на 80 МВт. При этом расход топлива в пп. 5 таб. 2 на 7.6 тыс. куб.м/час меньше, чем в таб. 4 протокола. Здесь очевидное **противоречие**. Таким образом, ссылки протокола на «методику» в действительности не связаны с испытанием, которое было проведено.

§ 5. Заключение

ТЭХ турбоагрегатов и практические методики содержат все необходимое для вычисления расходов газа в зависимости от электрической и тепловой нагрузок, чему примером служит (Д-13). Эти методики, конечно, могут применяться для оптимизации распределения нагрузок между турбоагрегатами.

Автор пытался предложить новый метод, считая свой подход глобальным в смысле оптимизации. Представленная в диссертации «методика» сводится к применению уравнений (3.11) - (3.14), которые дают **ложную** формулу $B = f(N_Э, Q_T)$, как видно из (Д-7). С учетом почти линейной зависимости $B = f(N_Э, Q_T)$, наблюдаемой в реальности, формулы (3.11) - (3.15) могут дать приемлемый результат, **если** фигурирующие в них коэффициенты $\tilde{\eta}^б$ и $\tilde{\eta}^{00}$ вычисляются непосредственно из (2.8) через конечные разности. Однако, при таком подходе намного проще применить формулу (Д-3), которая даст меньшую погрешность. Если же использовать для вычисления $\tilde{\eta}^б$ и $\tilde{\eta}^{00}$ формулы (2.29) и (2.35), как того требует «методика», то результат **непредсказуем**. Все результаты диссертации, связанные с коэффициентом γ, являются **ошибочными**. Они отражены в (2.29) и (2.32) – (2.35).

Поправочные коэффициенты K_j, введенные автором, физически и технически бессодержательны.

Таким образом, диссертационная работа М.М. Султанова не содержит **ни одного** достоверного результата из тех, которые были представлены к защите. В работе также нет новых результатов, которые могли бы быть исправлены в дальнейшем.

Ошибки данной работы возникли из базовой идеи считать частные производные (2.8), рассматривая вариации $N_Э$ и Q_T при двухступенчатых переходах, оставляющих $N_Э$ неизменным (рис. 2.1). Такой подход отвечает практике ТЭЦ, когда электрическая нагрузка перераспределяется между турбоагрегатами. Однако, на этом пути сделано много математических ошибок. В основном они связаны с неявно предполагаемым соотношением (Д-1), которое грубо противоречит (2.8).

Кроме того, идея с введением коэффициента γ в уравнение (2.24) была надуманной, а само уравнение физически бессодержательно. На этом пути допущены грубые ошибки в преобразованиях формул. Автор de'facto не использовал теплофизику и технические данные турбоагрегатов, которые принимаются во внимание в ТЭХ при вычислениях полных расходов тепла (что равносильно вычислению расходов газа). В целом диссертация является плодом безграмотных, математических **спекуляций** и не производит впечатления квалифицированной работы в области энергетики.

Утверждения автора о том, что результаты диссертации подтверждаются экспериментами, не соответствуют действительности. Отдельной оценки заслуживают действия, связанные с подгонкой результатов вычислений под опытные данные (таб. 3.7,3.8), очевидной подтасовкой данных (таб. 3.3), а также имитацией активного эксперимента (Протокол из приложений).

Вышеизложенное позволяет утверждать, что работа **не удовлетворяет** требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Д.Б. Зотьев

Доктор физико-математических наук 29 января 2015