

1144 +

Министерство промышленности продовольственных товаров СССР

МОСКОВСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
РЫБНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ХОЗЯЙСТВА
им. А. И. МИКОЯНА

На правах рукописи

ДОЦЕНТ А. Д. АБРАМОВИЧ

А Н А Л И З
методов теплового расчета судовых
огнетрубных котлов

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени
кандидата технических наук.



Мзкв. 1144

Под испытанным руководством Коммунистической партии наш советский народ добился выдающихся успехов в развитии социалистического народного хозяйства. Невиданными темпами, в кратчайшие сроки, без всякой помощи извне героический труд советских людей превратил отсталую царскую Россию в мощное индустриальное социалистическое государство, стоящее во главе лагеря мира и всего прогрессивного человечества.

В настоящее время наша Родина имеет технически совершенную тяжелую индустрию, т. е. ту основу социалистической экономики, на базе которой успешно развиваются все отрасли промышленности, транспорта и сельского хозяйства. Это позволяет советскому народу, полному могучих сил и уверенности в своем будущем, под руководством Коммунистической партии строить коммунизм в нашей стране.

Развитие производства в СССР подчинено основному экономическому закону социализма и направлено на удовлетворение постоянно растущих материальных и культурных потребностей всего общества путем непрерывного роста и совершенствования социалистического производства на базе высшей техники.

В настоящее время Коммунистическая партия поставила перед советским народом новые величественные задачи, решение которых возможно благодаря развитию тяжелой индустрии, укреплению колхозов и наличию подготовленных кадров во всех областях хозяйственного строительства.

Задачи эти сформулированы в докладе Председателя Совета Министров СССР товарища Г. М. Маленкова на V сессии Верховного Совета СССР и в решениях сентябрьского Пленума ЦК КПСС, а их практическое осуществление нашло свое выражение в постановлениях Совета Министров СССР и ЦК КПСС, направленных на резкое усиление темпов развития рыбной, пищевой и легкой промышленности и сельского хозяйства. В решении этих задач существенная роль принадлежит малой энергетике. Общеизвестно, что советские ученые добились очень больших успехов в области крупной энергетики. За годы пятилеток в СССР создано наиболее совершенное в мире энергомашиностроение. Труды советских теплотехников и, в первую очередь, коллективов научных работников Энергетического института АН СССР им. Г. М. Кржижановского, ЦКТИ им. И. И. Ползунова, ВТИ им. Ф. Э. Дзержинского привели к тому, что советские теплотехники заняли ведущее положение в мировой науке. В частности, созданы современные научно-обоснованные методы теплового расчета котельного агрегата, являющиеся большим достижением советской теплотехники.

Однако, в области исследования специфики работы и разработки методов теплового расчета котельных агрегатов малых мощностей пока сделано недостаточно. Применение же методов расчета мощных котлоагрегатов к расчетам котлов малой мощности является необоснованным и часто приводит к неправильным результатам. Между тем, котлы малых мощностей — в силу своей многочисленности — являются крупнейшими потребителями топлива и потому исследование их работы представляет значительный интерес. Особенно важно отметить, что, как правило, котлы эти оборудованы ручными слоевыми топками, не имеют хвостовых поверхностей нагрева и очень часто работают в условиях недопустимого водного режима. Это приводит к тому, что кпд мелких котлов в среднем не превышает 60 — 65 %, а зачастую доходит до 50 — 55 %, в то время как крупные мощные котлоагрегаты, как правило, работают с кпд порядка 85 % и выше.

В настоящее время имеются все возможности поставить и решить вопрос о резком повышении кпд мелких котельных агрегатов. Для этой цели уже разработаны механизированные топочные устройства, имеются конструкции малогабаритных воздухоподогревателей и водяных экономайзеров и т. д.

Рост рыбного флота и предприятий рыбной и пищевой промышленности, а также других отраслей, обслуживаемых малой энергетикой, ставит со всей остротой задачу повысить экономичность огромного парка уже установленных котлов малой мощности, так же как и вновь устанавливаемых котлов. Для этой цели, как указывалось выше, наша промышленность может изготавливать как механизированные топочные устройства, так и хвостовые поверхности нагрева. Но установка этого оборудования как при новых котлах, так и при модернизации старых котлов требует прежде всего умения правильно сделать тепловой расчет котлоагрегата, во избежание перерасхода металла, недостаточного повышения кпд и т. д.

Этот вопрос имеет также большое значение для парового флота рыбной промышленности, как правило, оборудованного судовыми огнетрубными котлами. Котлы этого же типа являются основными в речном флоте и имеют широкое распространение в морском.

Как доказывается в работе, условия теплообмена и аэродинамики судовых огнетрубных котлов имеют ряд специфических особенностей, до сих пор мало или совсем не изученных.

Настоящая работа ставит своей целью сделать анализ существующих методов теплового расчета судовых огнетрубных котлов с тем, чтобы выявить насколько эти методы отвечают специфике работы котлов в области теплообмена и аэродинамики и наметить пути построения обоснованной расчетной методики. Задача эта представляет определенный интерес, т. к. широко распространенные в промышленности огнетрубные котлы других типов (локомобильные,

паровозные и др.) частично имеют те же специфические особенности, и потому анализ работы судовых огнетрубных котлов поможет осветить работу и котлов похожих типов.

Работа состоит из 10-ти глав:

В первой главе дается краткое введение.

Во второй главе произведен анализ условий теплообмена и аэродинамики судовых котлов и выявлены те черты, которые являются специфичными для котлов этого типа. Затем произведен анализ всех методов теплового расчета как судовых, так и стационарных огнетрубных и паровозных котлов, и определяется насколько каждый метод учитывает специфику работы судовых огнетрубных котлов.

В третьей главе сделан краткий анализ всех методов расчета теплообмена в топках паровых котлов, как эмпирических и аналитических, так и основанных на использовании методов теории подобия. В результате этого анализа выбрано расчетное уравнение, которое используется для расчета теплообмена в топках судовых огнетрубных котлов.

В четвертой главе исследуется возможность расширения диапазона применения выбранного уравнения для расчета теплообмена в различных топочных устройствах.

В пятой главе дается опытное обоснование возможности получения единой формулы для расчета теплообмена в различных топочных устройствах.

В шестой главе приводится экспериментальный материал, относящийся к судовым огнетрубным котлам.

Седьмая глава посвящена выводам расчетных формул и устанавливает возможность увеличения количества расчетных вариантов.

В восьмой главе производится анализ условий теплообмена в дымогарных трубках и выводится приближенная формула для расчета конвективного теплообмена в полутурбулентном режиме ($2200 < Re < 10000$).

В девятой главе анализируются условия теплообмена и аэродинамики в тех случаях, когда пароперегревательные петли размещаются в дымогарных трубках.

В десятой главе даются выводы.

1. Работа начинается с анализа условий работы судовых огнетрубных котлов и при этом устанавливаются следующие черты, являющиеся характерными для котлов этого типа:

а) режим движения газов в дымогарных трубках должен быть отнесен к наименее изученному случаю полутурбулентного режима ($2200 < Re < 10000$);

б) своеобразная конфигурация топочной камеры (особенно у оборотных котлов), со значительным влиянием конвективного теплообмена и излучения слоя топлива в топке;

в) включение дымогарных трубок у оборотных котлов между огневой коробкой и дымоходом по схеме «Z», что должно вызвать неравномерность поля давлений и влиять на распределение дымовых газов между трубками;

г) закладка пароперегревательных элементов в дымогарные трубки, что меняет сопротивление трубок и, в свою очередь, влияет на задачу газа по трубкам;

д) влияние пароперегревательных элементов как на конвективный, так и на лучистый теплообмен в загроможденных трубках.

Анализ всех существующих методов теплового расчета показал, что указанная выше специфика работы огнетрубных котлов в них либо совсем не отражена, либо отражена не полностью. Одновременно доказывается, что существующие методы расчета паровозных котлов (внешне похожих на судовые огнетрубные) также не могут быть использованы для расчета судовых котлов.

В следующих частях работы подробно анализируются отдельные этапы методов теплового расчета, причем, в зависимости от имеющегося экспериментального материала и теоретической разработки того или иного вопроса, полученные результаты имеют более или менее конкретный и общий характер.

II. Так как начальной и наиболее ответственной частью всякого теплового расчета котлоагрегата является расчет теплообмена в топке, то в настоящей работе уделено внимание исследованию современного состояния этого вопроса и выбору расчетной методики для судовых огнетрубных котлов.

Как известно, наиболее совершенные методы расчета теплообмена в топках разработаны в СССР.

Работы проф. А. М. Гурвича, В. И. Тимофеева, С. Н. Шорина, Г. Л. Поляка, П. К. Конакова, Н. И. Белокопя, Ю. А. Суринова и др. являются крупным вкладом в науку и дали ценные методы, позволяющие уверенно рассчитывать теплообмен в топках паровых котлов.

Однако, современный уровень знаний и имеющийся экспериментальный материал, как указывают сами авторы расчетных методик, позволяют разработать только полуэмпирические методы расчета. Это, естественно, ограничивает область применения отдельных методик, так как распространение эмпирических формул за пределы эксперимента не может считаться законным.

При этом основной и наиболее точный экспериментальный материал, лежащий в основе современных методов (ЦКТИ, ЭНИН, ВТИ и др.), почти целиком относится к крупным стационарным котлам с факельными топками для пыли, мазута и газа.

Следует отметить, что указанные выше авторы современных методов расчета не ставили перед собой вопрос о возможности применения своих формул для расчета судовых огнетрубных котлов.

Это привело к тому, что в настоящее время для расчета этих котлов применяется несколько эмпирических методов — ж. т. н. В. В. Лаханина, инж. А. С. Александрова и инж. Л. К. Фомкинского — каждый из которых представляет определенный интерес и практическую ценность.

Следует отметить, что все существующие типы котлов можно разбить на 9 групп с точки зрения различия условий теплообмена в топках, а именно:

- 1) крупные стационарные котлы с факельными топками на пыли, мазуте и газе;
- 2) такие же котлы с вихревыми топками;
- 3) котлы со слоевыми экранированными топками;
- 4) те же котлы с камерами догорания;
- 5) судовые огнетрубные котлы;
- 6) судовые высоконапряженные котлы с мазутными топками;
- 7) выносные, неэкранированные топки к паровозным котлам;
- 8) выносные экранированные топки к тем же котлам;
- 9) паровозные топки.

Для расчета котлов этих групп (за исключением 2-й группы, для которой пока нет ни методики расчета, ни надежных экспериментальных данных) существует 11 методов расчета, каждый из которых охватывает либо одну, либо несколько групп.

При анализе условий теплообмена в топках судовых огнетрубных котлов представлялось целесообразным попытаться получить такую полуэмпирическую методику, которая охватывала бы не только эти котлы, но была бы пригодна и для расчета котлов других групп.

Такая попытка сделана в работе, при чем во всех случаях, когда имелся достаточно точный экспериментальный материал, она оказалась успешной.

Ввиду отсутствия надежных опытных данных по котлам 2, 6 и 9 групп вопрос о распространении предлагаемого метода и на эти расчетные случаи пока остается открытым.

Для возможности сравнения были взяты те испытания, которые позволили авторам отдельных методик предложить свои формулы.

Во всех случаях предлагаемый метод дает результат, хорошо совпадающий с опытными данными и расчетом по соответствующему методу.

Всего таким образом было обработано 126 опытов.

III. С целью максимального сокращения времени, затрачиваемого на расчеты, было произведено также упрощение расчетных формул.

Полученные формулы имеют очень простой вид, что позволило отказаться от принятого метода последовательных приближений и дало возможность получения прямого ответа на поставленный вопрос.

Упрощение формул позволило увеличить число возможных расчетных вариантов.

Исторически сложилось так, что расчет теплообмена в топках паровых котлов всегда производился только в двух вариантах:

1) по заданным: расходу топлива ($B \frac{\text{кг}}{\text{час}}$), радиационной поверхности ($H_{\text{рад}} \text{ м}^2$), объему топки ($V_{\text{т}} \text{ м}^3$) должна быть определена температура газов на выходе из топки ($t_0 \text{ } ^\circ\text{C}$). Это самый первый вариант расчета, ведущий свое начало еще со времени проф. Делпа и Гриневещкого. Объясняется это тем, что до появления экранов радиационная поверхность котла была величиной фиксированной и поэтому определению могла подлежать только t_0 .

Применение пылевидного, низкосортного топлива, рост мощности котлов и т. д. привели к необходимости, во-первых, экранировать топку, а, во-вторых, заранее фиксировать предельные значения температуры газов на выходе из топки. Таким образом, в 20-х годах этого столетия основное значение приобрел II расчетный вариант, а именно:

2) По заданным: расходу топлива $B \frac{\text{кг}}{\text{час}}$, температуре газов на выходе из топки $t_0 \text{ } ^\circ\text{C}$ и объему топки $V_{\text{т}} \text{ м}^3$ определить радиационную поверхность нагрева $H_{\text{рад}} \text{ м}^2$, которая обеспечивает охлаждение газов до нужной температуры.

Однако следует сказать, что эти два варианта не могут считаться охватывающими все случаи расчета. Имеются еще 2 расчетных варианта, представляющих практический интерес при поверочных и конструкторских расчетах.

Варианты эти таковы:

3) По заданным: радиационной поверхности $H_{\text{рад}} \text{ м}^2$, объему топки $V_{\text{т}} \text{ м}^3$ и температуре газов на выходе из топки $t_0 \text{ } ^\circ\text{C}$ определить, сколько топлива можно сжечь в данной топке $B \frac{\text{кг}}{\text{час}}$.

4) По заданным: радиационной поверхности $H_{\text{рад}} \text{ м}^2$, расходу топлива $B \frac{\text{кг}}{\text{час}}$ и температуре газов на выходе из топки $t_0 \text{ } ^\circ\text{C}$ определить нужный объем топки, в котором можно было бы сжечь заданное количество топлива, разместить заданную радиационную поверхность и получить нужную температуру.

Не трудно видеть, что третий вариант позволяет определить мощность котла по условиям температурного режима топки. До сих пор расход топлива определялся исключительно с количественной стороны: по тепловым напряжениям решетки $\left(\frac{Q}{R} \right) \frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \text{ час}}$, топочного объема $\left(\frac{Q}{V_{\text{т}}} \right) \frac{\text{ккал}}{\text{м}^3 \text{ час}}$. При этом качественная сторона, т. е. какая температура будет получена в топке при сжигании данного количе-

ства топлива, оставалась вначале вне поля зрения и выявлялась только в результате последующего самостоятельного расчета. Это, естественно, приводило к неизбежным перерасчетам, если при заданных $H_{\text{рад}}$ и $V_{\text{т}}$ температура получилась недопустимо высокой или низкой.

Представляется правильным, чтобы определение расхода топлива в тех случаях, когда $H_{\text{рад}} = \text{const}$, производилось одновременно и по количественным $\left(\frac{Q}{R}\right)$ и $\left(\frac{Q}{V_{\text{т}}}\right)$ и по качественным показателям (t_0).

Четвертый расчетный вариант тоже представляет известный интерес, особенно при конструкторском расчете судовых котлов, когда возможные габариты очень часто являются важнейшим заданным фактором. Для этого случая желательно уметь при вариантных расчетах определять, какой же объем топки нужно иметь, чтобы разместить в нем заданную $H_{\text{рад}}$ м², получить нужную t_0 °C и сжечь заданное количество топлива $B \frac{\text{кг}}{\text{час}}$.

В окончательном виде расчетные формулы таковы:

1. Определение необходимой радиационной поверхности

$$H_{\text{рад}} = \frac{K'}{(\Delta T) + A_{\text{п}}} \text{ м}^2 \quad (1)$$

2. Определение количества топлива, которое можно сжечь в топке определенного объема с определенной радиационной поверхностью, для получения заданного значения температуры газов в конце топки:

$$B = \frac{(\Delta T)_1}{K'' + A_{\text{п}}} \frac{\text{кг}}{\text{час}} \quad (2)$$

3. Определение величины топочного объема, в котором можно сжечь заданное количество топлива, разместить данную радиационную поверхность и получить заданную температуру газов на выходе из топки. Для этого решается уравнение

$$A_{\text{п}} = (\Delta T) - K'' \quad (3)$$

и по полученному значению $A_{\text{п}}$ по номограмме находится искомая величина топочного объема;

4. Определение температуры газов в конце топки. Для этой цели предлагается обычный в практике расчета судовых паровых котлов метод совместного решения уравнений теплового баланса и уравнения теплопередачи. Это последнее уравнение в данном случае таково:

$$Q_{\text{гад}} = P \frac{T_0}{y} \frac{\text{ккал}}{\text{час}} \quad (4)$$

Формулы сохраняют свой вид для котлов различных типов. Меняется только численное значение одного параметра.

Для облегчения расчета составлен ряд таблиц и номограмм.

IV. Во всех без исключения методах расчета конвективного теплообмена в дымогарных трубках предлагается определять коэффициент теплоотдачи конвекцией по формулам, пригодным только для чисто турбулентного режима ($Re > 10000$).

В работе доказывается, что в дымогарных трубках значение критерия Рейнольдса никогда не достигает этого значения.

При обычных температурах газов и диаметрах дымогарных трубок (76 — 56 мм) величина критерия Рейнольдса 10000 может быть только при скоростях газов около 10 — 13 м/сек, однако, такие скорости не только не встречаются, но и не могут встречаться в судовых огнетрубных котлах.

При существующих соотношениях между площадью решетки, объемом топки и количеством дымогарных труб в трубках может осуществляться либо ламинарный режим, при скоростях газов около 2 м/сек., либо промежуточный полутурбулентный, причем последний является наиболее часто встречающимся.

Таким образом, теплообмен в дымогарных трубках происходит, в основном, в промежуточном (полутурбулентном) режиме, поэтому расчет теплообмена по формулам, пригодным для турбулентного режима, в этом случае является незаконным. Конвективный теплообмен в полутурбулентном режиме до сих пор не изучен. Имеющиеся формулы пригодны лишь для жидкостей с числом Прандтля более 40, либо при теплообмене в узких щелях.

Путем обработки ряда испытаний огнетрубных котлов в работе получена приближенная формула, характеризующая теплообмен в полутурбулентном режиме:

$$Nu_{\text{пот}} = c Re_{\text{пот}} \quad (5)$$

Расчет по этой формуле дает отклонение от опытных данных, не превышающее 10%.

V. Наиболее сложным является учет влияния размещения пароперегревательных трубок в дымогарных.

Полное отсутствие экспериментального материала во всей имеющейся литературе не позволило в этой части работы получить конкретные результаты и заставило ограничиться только анализом положения.

Все существующие методы теплового расчета судовых огнетрубных котлов могут быть в отношении учета влияния пароперегревательных элементов разбиты на 2 группы.

В первой для учета разделения потока между свободными и загроможденными трубками используется формула акад. С. П. Сыромятникова для паровозных котлов.

Во второй делается предположение о постоянстве поля давлений в огневой коробке и дымнике, что позволяет значительно упростить расчет.

В работе доказывается, что оба метода не учитывают специфику аэродинамики судовых оборотных котлов.

Паровозные котлы имеют совершенно отличную конфигурацию топки и способ включения трубок пароперегревателя. Кроме того, последние, как известно, закладываются у паровозов в специальные жаровые трубы, имеющие значительно больший диаметр, чем дымогарные. В то же время в судовых огнетрубных котлах пароперегреватель закладывается в обычные дымогарные трубки, что резко меняет условия разделения газового потока.

Кроме того, ни в одной методике нет учета очень важного для аэродинамики фактора, а именно — влияния схемы включения дымогарных трубок между огневой коробкой и дымником у оборотных котлов. Пользуясь терминологией, заимствованной из расчета неравномерности раздачи пара по трубкам пароперегревателя, можно сказать, что дымогарные трубки включены по схеме «Z». Как известно, эта схема отличается максимально неравномерным полем давления в обоих коллекторах (собирающем и раздающем). Следовательно, в огневой коробке и в дымнике должны существовать поля давлений, которые нельзя не учитывать при расчете распределения газов по трубкам. При этом закладка пароперегревательных элементов должна, в известной мере, играть роль дросселирования. Решение этого вопроса может быть получено, однако, в результате специального последования путем моделирования.

Влияние пароперегревательных элементов распространяется не только на аэродинамику, но и на теплообмен. Находящиеся внутри дымогарных трубок пароперегревательные трубки, имеющие температуру стенки более высокую, чем стенки дымогарных труб, вступают с ними в лучистый теплообмен. Впервые на это обстоятельство обратил внимание акад. С. П. Сыромятников в отношении паровозных котлов. В работе показано, что лучеиспускание стенок перегревателя, примерно, в два раза интенсивнее лучеиспускания газов и, таким образом, в результате сложного теплообмена пароперегреватель отдает лучеиспусканием дымогарным трубкам вдвое больше тепла, чем получает от лучеиспускающих газов. Несомненно, что этот фактор подлежит учету при любом методе теплового расчета судовых огнетрубных котлов, что до сих пор не делалось.

В работе доказывается также, что и конвективный теплообмен в загроможденных трубках имеет свои специфические особенности, подлежащие специальному исследованию, особенно при полутурбулентном режиме движения.

ВЫВОДЫ

1. Произведенный в работе анализ условий теплообмена и аэродинамики судовых огнетрубных котлов выявил, что эти котлы имеют

ряд специфических особенностей, выделяющих их в отдельную группу.

2. Анализ методов теплового расчета этих котлов показал, что существующие методы либо совсем не учитывают эту специфику, либо учитывают не полностью и не точно.

3. Особенности теплообмена в топках паровых котлов позволяют разбить их на 9 групп. Для расчета теплообмена в топках этих котлов в настоящее время существует 11 эмпирических и полуэмпирических методов расчета. В том числе для расчета теплообмена в топках судовых огнетрубных котлов имеются 3 эмпирических метода.

4. Очевидно следует разработать такой метод расчета, который позволил бы охватить возможно большее число групп котлов.

В работе сделана попытка разработки такого метода расчета теплообмена в топках.

Сопоставление результатов расчета по этому методу с данными большого числа испытаний котлов разных групп показало вполне удовлетворительное совпадение расчетных и опытных данных.

5. Исходя из того, что любой метод расчета должен оцениваться не только с точки зрения точности, но и с точки зрения простоты, произведено значительное упрощение расчетных формул и разработана подробная схема расчетов в различных вариантах.

В том числе предложены формулы для определения расхода топлива и величины теплоточного объема, исходя из условий радиационного теплообмена.

6. Доказано, что теплообмен в дымогарных трубках, как правило, происходит в полутурбулентном режиме, и получена эмпирическая формула для расчета конвективного теплообмена в этом режиме.

7. Доказано, что наличие пароперегревательных трубок в дымогарных значительно влияет как на лучистый, так и на конвективный теплообмен.

8. Доказано, что аэродинамика судовых оборотных котлов имеет значительные особенности, которые необходимо учитывать.

9. Найденные в работе формулы для расчета теплообмена в топках и конвективного теплообмена в полутурбулентном режиме могут иметь значение для расчета котлов различных типов, а не только судовых огнетрубных. Применение их может способствовать получению более точных и надежных результатов при тепловых расчетах.

Доцент А. Д. Абрамович