

На правах рукописи



Семин Сергей Александрович

РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ СНИЖЕНИЯ ШУМА
ВЫХЛОПНЫХ ТРАКТОВ ГТУ С КОТЛАМИ-УТИЛИЗАТОРАМИ

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

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

МОСКВА – 2008

Работа выполнена в Московском энергетическом институте (Техническом университете) на кафедре Котельных установок и экологии энергетики.

Научный руководитель: доктор технических наук
профессор Тупов Владимир Борисович

Официальные оппоненты: доктор технических наук
профессор Медведев Виктор Тихонович
кандидат технических наук
Девянин Вячеслав Алексеевич

Ведущая организация: ОАО «Мосэнерго»

Защита состоится «21» мая 2008 г. в 19 час. 00 мин.
в аудитории МАЗ на заседании диссертационного совета
Д 212.157.07 при Московском энергетическом институте (Техническом университете) по адресу: г. Москва, ул. Красноказарменная, д. 14.

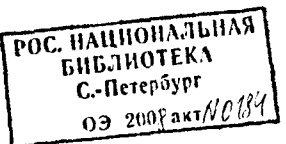
С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Московского энергетического института (Технического университета).

Отзывы на автореферат (в двух экземплярах, заверенные печатью организации) просим направлять по адресу: 111250, г. Москва, ул. Красноказарменная, д. 14, Ученый Совет МЭИ (ТУ).

Автореферат разослан «18» апреля 2008 г.

Ученый секретарь
диссертационного
совета Д 212.157.07
к.т.н., проф.

В.М. Лавыгин



Лавыгин В.М.

2008А
4591

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В настоящее время все больше внимания уделяется борьбе с шумовым воздействием, характерным для тепловых электрических станций.

Одним из перспективных направлений развития современной энергетики является использование газотурбинных установок (ГТУ) с котлами-утилизаторами. Основным негативным экологическим фактором, характерным для ГТУ с котлами-утилизаторами, является сильное шумовое воздействие на окружающий район. Это обусловлено тем, что из энергетического оборудования ГТУ является самым мощным источником постоянного шума. В связи с этим изучение вопросов, связанных с шумовым излучением от ГТУ с котлами-утилизаторами приобретает особую актуальность.

Изучением теории и практики снижения шума занимались многие известные ученые: Е.Я. Юдин, А.И. Белов, Н.И. Иванов, Г.Л. Осипов, А.С. Терехин, И.Е. Цукерников, Л.Р. Яблоник, Г.А. Хорошев, Ю.И. Петров, Л.Беранек, М.Л. Муньял, Ф.П. Мехель, М. Хекл, Х.А. Мюллер и др. Различные аспекты шумоглушения энергетического оборудования (в том числе и газотурбинного) были рассмотрены в работах Е.А. Перцовского, Ф.Е. Григорьяна, Л.А. Рихтера, В.Б. Тупова, В.И. Зинченко и др. При этом до настоящего времени многие вопросы остаются недостаточно изученными.

Целью работы является разработка методов снижения шума выхлопных трактов ГТУ с котлами-утилизаторами до значений, обеспечивающих санитарные нормы по фактору шума на прилегающей селитебной территории.

Методы исследования. Для получения научных результатов в работе применены расчетные и экспериментальные методы исследования.

Научная новизна работы заключается в следующем:

– получена формула, позволяющая рассчитывать суммарный уровень звуковой мощности ГТУ в зависимости от ее электрической мощности;

-- получены новые экспериментальные данные по снижению уровня шума в поверхностях нагрева водогрейных котлов-утилизаторов средней тепловой мощности;

-- на основе этих данных рассчитаны значения санитарно-защитной зоны по фактору шума при разном количестве энергоблоков для различных ГТУ;

-- разработан метод оптимизации конструкции глушителя шума абсорбционного типа, размещаемого в выхлопном тракте ГТУ.

Достоверность результатов обеспечена применением базовых положений теории звука, методов статистической обработки полученных результатов, методов оценки финансово-экономической эффективности инвестиционных проектов, согласованностью полученных результатов с соответствующими теоретическими представлениями и результатами работ других авторов.

Практическая значимость работы состоит в следующем:

-- рассчитанные на основе экспериментальных данных значения коэффициента, характеризующего затухание звуковой энергии в обретенных поверхностях нагрева, позволяют оценивать снижение уровня шума в поверхностях нагрева котлов-утилизаторов средней тепловой мощности — это снижение уровня шума необходимо учитывать при разработке мероприятий по снижению шума выхлопа ГТУ;

-- разработанный метод позволяет определять оптимальное значение площади проходного сечения абсорбционного глушителя, устанавливаемого в выхлопном тракте ГТУ, с точки зрения минимума дисконтированных затрат, что делает возможным оптимизировать конструкцию глушителя шума.

Внедрение результатов. Результаты данной работы были использованы в проекте стандарта организации ОАО РАО «ЕЭС России» «ТЭС. Экологическая безопасность. Акустическое воздействие (шум)», а также при разработке конструкций глушителей шума газовых трактов котлов-утилизаторов следующих марок: КУВ-69,8-150 производства ОАО «Дорогобужкотломаш» для ГТЭС «Поселок Северный», П-132 производства АО «Подольский машино-

строительный завод» (АО «ПМЗ») для Киришской ГРЭС, П-111 производства АО «ПМЗ» для ТЭЦ-9 филиал ОАО «Мосэнерго».

На защиту выносятся следующие положения:

1. Зависимость, позволяющая оценивать суммарный уровень звуковой мощности выхлопа ГТУ по значению электрической мощности ГТУ.
2. Натурные результаты снижения уровня шума в поверхностях нагрева котлов-утилизаторов средней тепловой мощности.
3. Метод расчета снижения уровня звуковой мощности в котле-утилизаторе.
4. Результаты расчетов санитарно-защитной зоны по фактору шума от энергоблоков ГТУ различных марок с котлами-утилизаторами при разном их количестве.
5. Метод оптимизации конструкции глушителя шума абсорбционного типа, предназначенного для снижения шума выхлопного тракта ГТУ.

Апробация работы. Основные положения и результаты работы были доложены на двенадцатой, тринадцатой и четырнадцатой Международных научно-технических конференциях студентов и аспирантов «Радиоэлектроника, электротехника и энергетика» (г. Москва, 2006, 2007 и 2008 гг.), на научно-технической конференции с международным участием «Строительная физика в XXI веке» (г. Москва, 2006 г.), на научном семинаре кафедры Котельных установок и экологии энергетики МЭИ (ТУ) в 2007 г.

Публикации. Материалы диссертации опубликованы в пяти печатных работах, в том числе в одном издании, рекомендованном перечнем ВАК.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, одного приложения. Работа содержит 129 страниц основного текста, 37 рисунков, 23 таблицы, библиография содержит 63 источника.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении приводится обоснование актуальности темы диссертационной работы, сформулированы основные цели и задачи исследования, приведены внедрение результатов и апробация работы, показана научная новизна и практическая значимость работы, дано краткое описание диссертации.

В первой главе диссертационной работы проведен анализ шумовых характеристик выхлопа восьми марок ГТУ средней и большой мощности, полученных автором у представителей фирм-изготовителей ГТУ.

Установлено, что в диапазоне нормируемых среднегеометрических частот от 31,5 до 8000 Гц уровни звуковой мощности (УЗМ) выхлопа ГТУ распределены неравномерно и их распределение определяется индивидуальными особенностями каждой ГТУ (рис. 1).

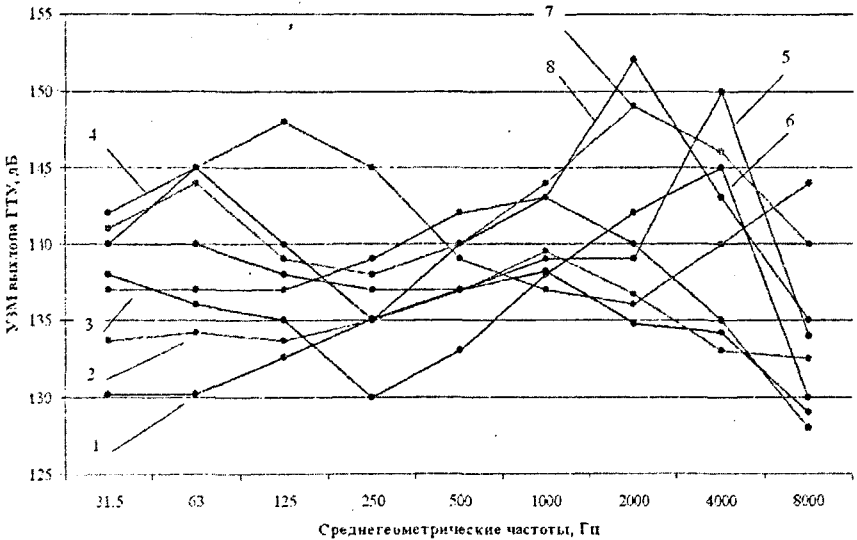


Рис. 1. Уровни звуковой мощности выхлопа ГТУ в октавных полосах:

- 1 – ГТН-16М-1 (ЗАО «УТЗ», 16,8 МВт);
- 2 – АЛ-31СТЭ (ОАО «УМПО», 18 МВт);
- 3 – SGT-700 (Siemens, 29,1 МВт);
- 4 – SGT-800 (Siemens, 47 МВт);
- 5 – SGT-1000F (Siemens, 68 МВт);
- 6 – GT11N2 (Alstom, 113,6 МВт);
- 7 – ГТЭ-160 (ОАО «Силсвые машины», 157 МВт);
- 8 – SGT5-4000F (Siemens, 287 МВт)

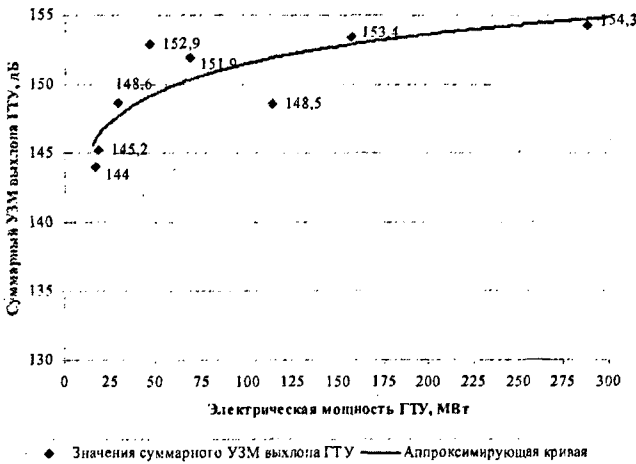
Показана невозможность выведения зависимости шумовой характеристики выхлопа ГТУ в октавном спектре от мощности ГТУ и для сравнительного анализа полученных данных предлагается использовать суммарный уровень звуковой мощности выхлопа ГТУ L_c , дБ.

Получена формула, позволяющая рассчитывать суммарный уровень звуковой мощности выхлопа ГТУ L_c , дБ, в зависимости от ее электрической мощности:

$$L_c = 7,1 \cdot \lg(N_e) + 137,3, \quad (1)$$

где N_e – электрическая мощность ГТУ, МВт.

Зависимость (1) позволяет выполнить оценку суммарного уровня звуковой мощности, излучаемой выхлопом ГТУ, в зависимости от ее электрической мощности и провести сравнение его значений для разных марок ГТУ.



На рис. 2 показаны значения суммарного уровня звуковой мощности выхлопа ГТУ, полученные по данным фирм-изготовителей, а также аппроксимирующая кривая, описываемая выражением (1).

Рис. 2. Зависимость суммарного УЗМ выхлопа ГТУ L_c , дБ, от ее электрической мощности

Из рис. 2 видно, что при увеличении электрической мощности ГТУ наблюдается рост суммарного уровня звуковой мощности выхлопа ГТУ.

Во второй главе приведены новые экспериментальные данные по снижению уровня шума в оребренных поверхностях нагрева, являющихся неотъемлемой частью котлов-утилизаторов.

Предлагается метод, позволяющий рассчитать значения уровня звуковой мощности среза дымовой трубы котла-утилизатора, необходимые для определения уровней звукового давления в окружающем районе и разработки соответствующих мер по шумоглушению. Октавный уровень звуковой мощности среза дымовой трубы ГТУ с котлом-утилизатором $L_{P_{нр}}$, дБ, рассчитывается по формуле

$$L_{P_{нр}} = L_P - \Delta L_{P_{нов}} - \sum_{i=1}^m \Delta L_{P_{э,и}}, \quad (2)$$

где L_P — октавный уровень звуковой мощности выхлопа ГТУ, дБ;

$\Delta L_{P_{нов}}$ — снижение октавного уровня звуковой мощности в поверхностях нагрева котла-утилизатора, дБ;

$\sum_{i=1}^m \Delta L_{P_{э,и}}$ — снижение октавного уровня звуковой мощности в других элементах газового тракта котла-утилизатора, дБ.

Для расчета слагаемого $\sum_{i=1}^m \Delta L_{P_{э,и}}$ необходимо рассчитать по приведенным в литературе формулам значения снижения уровня звуковой мощности в различных элементах газового тракта котла-утилизатора (на поворотах, при сужении канала, на прямых участках и т. д.) и сложить их. Неизвестным остается снижение уровня звуковой мощности в поверхностях нагрева котла-утилизатора $\Delta L_{P_{нов}}$.

Для определения снижения шума в оребренных пакетах котлов-утилизаторов проведена серия акустических измерений. Среди большого разнообразия марок котлов-утилизаторов, используемых в энергетике, в качестве объектов исследования рассмотрены водогрейные котлы-утилизаторы следующих марок:

– TF80-TEG92.6kg/s-381°C (тип TF-80-ТТЕ-28,2 – далее TF-80) тепловой мощностью 24 Гкал/ч производства фирмы Т.А. SAARINEN OY (Финляндия);

– KB-53-180 (модель ТКУ-8) тепловой мощностью 46,2 Гкал/ч производства ОАО ТКЗ “Красный котельщик” (г. Таганрог).

Особенностью этих котлов-утилизаторов, повлиявшей на выбор их в качестве объектов экспериментального исследования, являются то, что они оба являются образцами современной промышленной продукции и находят применение в сегодняшней российской энергетике (в частности, установлены на ГТУ-ТЭЦ г. Электросталь), следовательно, анализ их акустических характеристик приобретает особую актуальность.

Эксперимент проводился следующим образом. В качестве источника

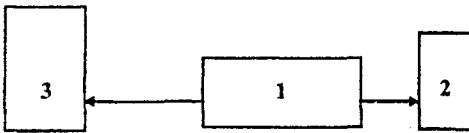


Рис. 3. Схема испытательного стенда
1 – генератор сигнала; 2 – милливольтметр;
3 – акустическая система

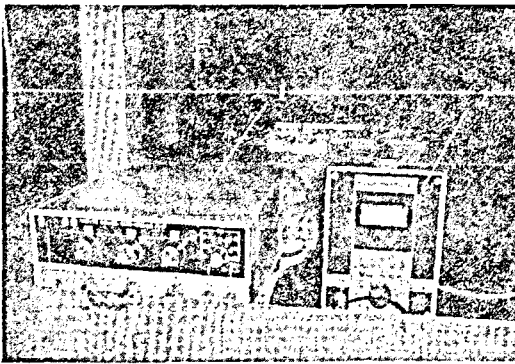


Рис. 4. Фотография испытательного стенда (рядом с котлом-утилизатором ТКУ-8)

шума использовался образцовый источник (поз.1, рис. 3, 4), создающий звуковой сигнал заданной частоты и располагаемый около котла-

утилизатора. На выхлопе ГТУ устанавливалась акустическая система (поз.3, рис. 3), подключенная к генератору сигнала, находившемуся на площадке рядом с котлом. Также к генератору сигнала подключался милливольтметр (поз. 2, рис. 3, 4), предназначенный для контроля

постоянного уровня сигнала от источника. На каждой из октавных полос со

среднегеометрическими частотами от 125 до 8000 Гц генератор сигнала формировал постоянный звуковой сигнал, который через акустическую систему распространялся по газовому тракту котла-утилизатора. Посредством анализатора спектра шума Larson Davis 2800 проводились измерения уровня звукового давления до пакетов оребренных труб и за ними. На рис. 5 показан измерительный ярус между поверхностями нагрева котла-утилизатора ТФ-80.

В табл. 1 представлены результаты, полученные после обработки экспериментальных данных: значения суммарного снижения уровня звуковой мощности в пакетах оребренных труб котлов-утилизаторов ТКУ-8 (площадь исследуемой поверхности нагрева 7358,6 м²) и ТФ-80 (площадь исследуемой поверхности нагрева 5077 м²).

Таблица 1. Снижение уровня звуковой мощности $\Delta L_{пов}$, дБ, в поверхностях нагрева котлов-утилизаторов рассматриваемых марок

Марка котла	Среднегеометрические частоты, Гц						
	125	250	500	1000	2000	4000	8000
ТКУ-8	3,5	3,5	3,5	3,5	8,5	20,8	31,2
ТФ-80	2,8	2,8	2,8	2,8	6,0	13,0	20,5

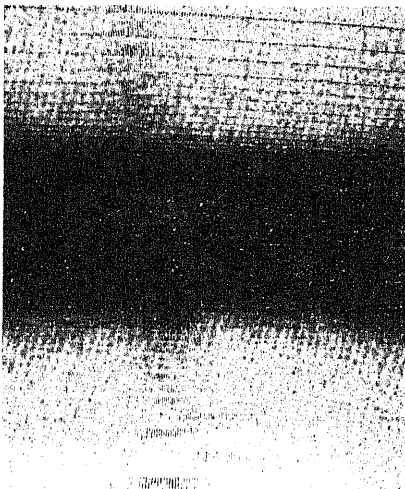


Рис. 5. Газоход котла-утилизатора ТФ-80 между пакетами экономайзера

В экономайзерных пакетах обоих котлов на частотах от 125 до 1000 Гц значения снижения уровня звуковой мощности близки друг другу: 2,8 дБ для котла ТФ-80 и 3,5 дБ для котла ТКУ-8. А на частотах от 2000 до 8000 Гц снижение уровня звуковой мощности меняется следующим образом: от 8,5 до 31,2 дБ для котла ТКУ-8 и от 6 до 20,5 дБ для котла ТФ-80. Таким образом, пакеты экономайзера выпол-

няют функцию ступени абсорбционного глушителя высокочастотного шума. Эту особенность снижения шума в теплообменных пакетах котлов-утилизаторов необходимо учитывать при расчете уровня звукового давления в окружающем районе, а также при разработке мероприятий по шумоглушению выхлопного тракта ГТУ.

Предлагается метод определения снижения уровня звуковой мощности в котле-утилизаторе, основанный на предположении, что снижение шума в котле-утилизаторе зависит от площади его поверхности нагрева. Зависимость снижения уровня звуковой мощности в котле-утилизаторе ΔL_p , дБ, от площади его поверхностей нагрева запишем следующим образом

$$\Delta L_p = 10 \lg \left(\Phi(\alpha) \cdot \frac{S}{S_0} \right), \quad (3)$$

где $\Phi(\alpha)$ — коэффициент, характеризующий затухание звуковой энергии в оребренных поверхностях нагрева; S — площадь поверхности нагрева, м²; $S_0 = 1 \text{ м}^2$ — единичная площадь поверхности нагрева.

Коэффициент $\Phi(\alpha)$ характеризует снижение звуковой энергии при прохождении ее через оребренные теплообменные поверхности котлов-утилизаторов, определяется их звукопоглощающими свойствами (коэффициент звукопоглощения α), а также конструктивными особенностями (тип оребрения, проходное сечение, расстояние между пакетами и т.д.).

В табл. 2 приведены осредненные значения коэффициента $\Phi(\alpha)$ пакетов оребренных труб водогрейных котлов-утилизаторов, полученные путем обработки экспериментальных данных для котлов ТКУ-8 и TF-80.

Таблица 2. Коэффициент, характеризующий затухание звуковой энергии в поверхностях нагрева котлов-утилизаторов, $\Phi(\alpha)$

Среднегеометрические частоты, Гц						
125	250	500	1000	2000	4000	8000
$3,40 \cdot 10^{-4}$	$3,40 \cdot 10^{-4}$	$3,40 \cdot 10^{-4}$	$3,40 \cdot 10^{-4}$	$8,73 \cdot 10^{-4}$	$1,01 \cdot 10^{-2}$	$1,01 \cdot 10^{-1}$

Приведенные в табл. 2 значения коэффициента $\Phi(\alpha)$ могут быть использованы для оценки снижения уровня звуковой мощности в поверхностях нагрева различных марок котлов-утилизаторов средней тепловой мощности.

Третья глава посвящена определению санитарно-защитной зоны вокруг энергоблоков ГТУ средней и большой мощности с котлами-утилизаторами при разном количестве энергоблоков с учетом полученных экспериментальных данных.

Уровень звукового давления на границе санитарно-защитной зоны $L_{зр}$, дБ, в диапазоне октавных полос со среднегеометрическими частотами от 31,5 до 8000 Гц рассчитывается по методике, изложенной в ГОСТ 31295.2-2005 (ИСО 9613-2:1996), введенному в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации с 1 января 2007 г.

Размер санитарно-защитной зоны для энергоблоков ГТУ с котлами-утилизаторами рассчитывается исходя из условия соблюдения допустимых

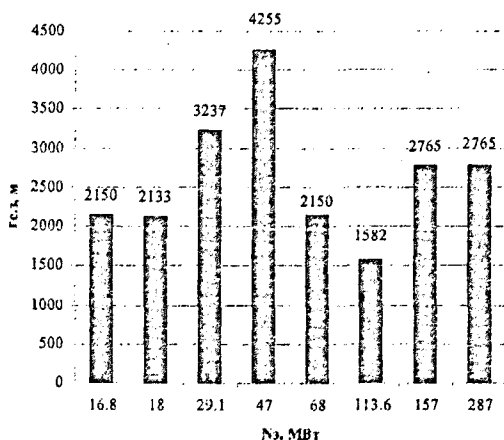


Рис. 6. Расчетный размер санитарно-защитной зоны по шуму $r_{c,3}$, м, для одного энергоблока ГТУ разной мощности N_3 , МВт, с котлом-утилизатором

для ГТУ разной мощности.

уровней звукового давления на территории, непосредственно прилегающей к жилым домам, в ночное время (от 23.00 до 07.00) с учетом поправки на тональный характер шума.

На рис. 6 показаны значения размера санитарно-защитной зоны по шуму $r_{c,3}$, м, при расположении на станции одного энергоблока ГТУ с котлом-утилизатором

Отмечается значительный размер санитарно-защитной зоны $r_{сз}$, который меняется для большинства ГТУ в диапазоне примерно от 1600 до 3200 м, а для ГТУ мощностью 47 МВт превышает 4200 м. Акустический расчет показал, что шумовое воздействие является одним из факторов, определяющих возможности применения ГТУ на объектах энергетики.

Проведен анализ изменения санитарно-защитной зоны при увеличении количества энергоблоков ГТУ с котлами-утилизаторами от одного до шести для рассматриваемых марок ГТУ электрической мощностью от 16,8 до 287 МВт. На рис. 7 показаны зависимости размера санитарно-защитной зоны для различного состава энергооборудования.

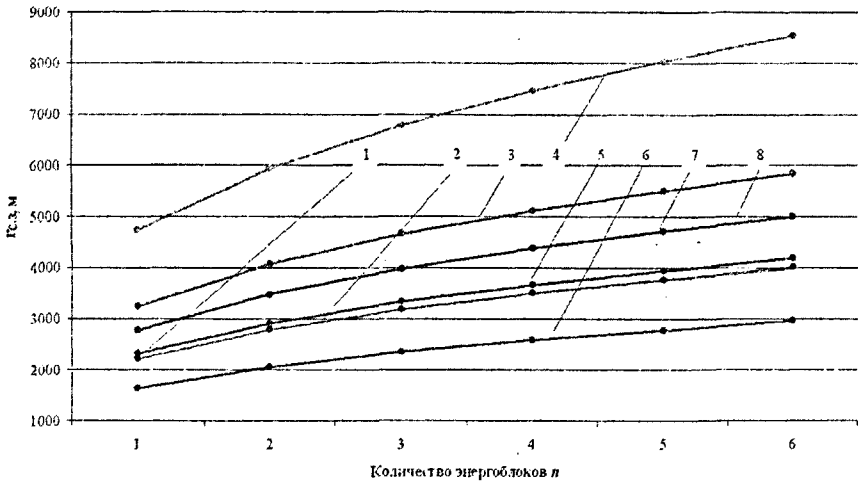


Рис. 7. Размер санитарно-защитной зоны $r_{сз}$, м, для ГТУ с котлами-утилизаторами: 1 – ГТН-16М-1 (ЗАО «УТЗ», 16,8 МВт); 2 – АЛ-31СТЭ (ОАО «УМПО», 18 МВт); 3 – SGT-700 (Siemens, 29,1 МВт); 4 – SGT-800 (Siemens, 47 МВт); 5 – SGT-1000F (Siemens, 68 МВт); 6 – GT11N2 (Alstom, 113,6 МВт); 7 – ГТЭ-160 (ОАО «Силловые машины», 157 МВт); 8 – SGT5-4000F (Siemens, 287 МВт)

Из рис. 7 видно, что размер санитарно-защитной зоны $r_{сз}$ достигает значительных величин: меняется примерно от 1600 до 4200 м для одного энер-

гоблока и примерно от 3000 до 8500 м для шести энергоблоков ГТУ разных марок. При этом размер $r_{с,з}$ не зависит от электрической мощности ГТУ.

Определен диапазон требуемого снижения уровней звукового давления для ГТУ средней и большой мощности с котлами-утилизаторами из условия обеспечения санитарно-защитной зоны на расстоянии 500 м от станции: необходимое снижение шума может превышать 20 дБ в среднечастотном спектре в зависимости от состава энергооборудования.

В четвертой главе представлен метод оценки оптимального значения площади проходного сечения абсорбционного глушителя, устанавливаемого в выхлопном тракте ГТУ, позволяющий оптимизировать его конструкцию с учетом как технических особенностей работы ГТУ, так и современных критериев оценки финансово-экономической эффективности инвестиционных проектов.

Одной из важнейших конструктивных характеристик глушителя шума является площадь его проходного сечения. С одной стороны, при увеличении проходного сечения глушителя происходит снижение его аэродинамического сопротивления, а с другой — уменьшается затухание звука на единицу длины канала, что требует увеличения размеров глушителя для получения требуемой эффективности, а, следовательно, приводит к росту его стоимости. Таким образом, определение оптимального проходного сечения глушителя является технико-экономической задачей.

До настоящего времени проводили оптимизацию размеров пластинчатого глушителя, устанавливаемого в газовом тракте паросиловой ТЭС, по минимуму приведенных затрат. Этот критерий широко применялся в условиях плановой экономики. Однако ряд принципиальных отличий ГТУ от паросиловых энергоблоков (преодоление аэродинамического сопротивления выхлопного тракта происходит за счет работы самой ГТУ без участия тягочувствительных машин; наблюдается зависимость электрической мощности ГТУ от температуры наружного воздуха), а также переход к рыночной экономике

делают необходимым разработку нового метода, который позволил бы оптимизировать конструкцию абсорбционного глушителя выхлопного тракта ГТУ. Этот метод должен учитывать как особенности работы ГТУ, так и современные методы оценки финансово-экономической эффективности инвестиционных проектов, принятые в российской энергетике.

В предлагаемом методе критерием выбора оптимального значения проходного сечения абсорбционного глушителя шума выхлопа ГТУ является минимум суммарных дисконтированных затрат Z_0 , руб, рассчитываемых по формуле

$$Z_0 = \sum_{t=0}^{T_p} (K_{от} + И - И_{ам}) (1 + E)^{-t}, \quad (4)$$

где $K_{от}$ — капитальные вложения в глушитель в год t , руб; $И$ — издержки без учета амортизации в год t , руб; $И_{ам}$ — амортизационные отчисления в год t , руб; E — ставка дисконтирования; T_p — расчетный период, годы.

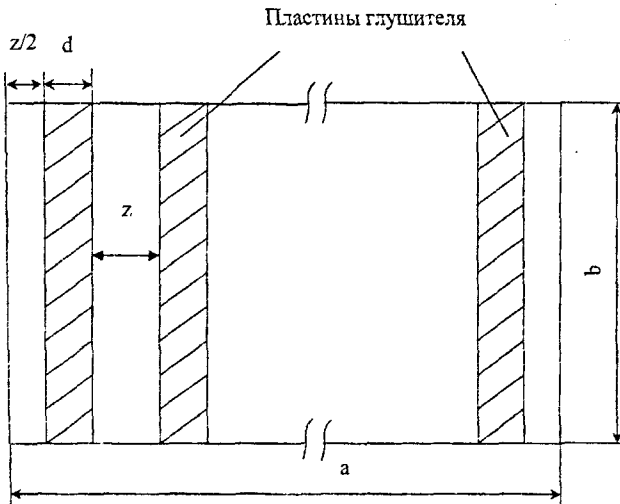


Рис. 8. Схема расположения пластин шумоглушителя в сечении газотока

Более подробно в работе рассмотрен случай установки пластинчатого глушителя, широко используемого для глушения шума выхлопного тракта ГТУ при утилизации тепла уходящих газов ГТУ в котле-утилизаторе. Схематичное изо-

бражение расположения пластин глушителя шума показано на рис. 8.

Для пластинчатого глушителя выражение (4) после преобразований будет выглядеть следующим образом

$$Z_0 = \frac{A}{\alpha_{эке}} \frac{k(1-k)}{dk + b(1-k)} + (B \frac{1-k}{k^2} (\xi_1 + \xi_2 - \xi_2 k) + \frac{BC \xi_{мп}}{\alpha_{эке}} \frac{1}{k^2} \sum_{i=1}^{T_p} (1 + \frac{\delta U_i}{100})^{i-1} (1+E)^{-i} - H_{ам} \frac{A}{\alpha_{эке}} \frac{k(1-k)}{dk + b(1-k)} \sum_{i=1}^{T_p} (1+E)^{-i}), \quad (5)$$

где A , B и C — коэффициенты, объединяющие параметры, независщие от относительного проходного сечения глушителя k :

$$A = 0,46 S k_{э} \Delta L d b, \quad (6)$$

$$B = \frac{0,275 V^2 \rho U_0 \sum_{i=1}^{12} N_i h_i}{p_{атм} S^2}, \quad (7)$$

$$C = 0,23 \Delta L, \quad (8)$$

где $k = S_{np}/S$ — относительное проходное сечение глушителя; S_{np} — проходное сечение глушителя, m^2 ; S — площадь сечения газохода в месте установки глушителя, m^2 ; $\alpha_{эке}$ — эквивалентный коэффициент поглощения облицовки; d — толщина пластины глушителя, m ; b — глубина сечения газохода в месте установки глушителя, m ; ξ_1 — коэффициент смягчения входного сопротивления; ξ_2 — коэффициент смягчения выходного сопротивления; δU_0 — ежегодный относительный рост цены электроэнергии, %; $H_{ам}$ — норма амортизационных отчислений в год, $1/\text{год}$; $k_{э}$ — стоимость $1 m^3$ пластин глушителя с размерами $1 \times 1 \times d m$ (удельная стоимость глушителя), $\text{руб}/m^3$; ΔL — снижение уровня шума в глушителе, дБ ; V — объемный расход дымовых газов, проходящих через глушитель, $m^3/\text{с}$; ρ — плотность дымовых газов в газоходе, $\text{кг}/m^3$; U_0 — цена электроэнергии в первый год расчетного периода, $\text{руб}/(\text{кВт}\cdot\text{ч})$; N_i — мощность ГТУ без установки глушителя в ее выхлопном тракте при среднемесячной температуре наружного воздуха $T_{срi}$ данного месяца, кВт ; h_i — число часов работы ГТУ в данном месяце, ч ; i — число месяцев в году; $p_{атм}$ — атмосферное давление, Па .

Установлено, что зависимость Z_0 от k выглядит следующим образом: при увеличении k до некоторого значения затраты Z_0 резко уменьшаются — на этом интервале k основной вклад в значение Z_0 вносят затраты, связанные с недовыработкой электроэнергии за счет установки глушителя в котле-утилизаторе. При дальнейшем увеличении k Z_0 плавно увеличиваются — в этом диапазоне значений k Z_0 определяются, в основном, капитальными затратами в глушитель шума. Значение k , при котором возникает излом графика, и является оптимальным значением относительного проходного сечения глушителя — соответствует минимуму суммарных дисконтированных затрат Z_0 .

Таким образом, формула (5) позволяет рассчитать оптимальное значение относительного проходного сечения глушителя k при минимальном значении суммарных дисконтированных затрат Z_0 .

Проведены варианты расчеты и проанализировано влияние изменения различных факторов на значение оптимальной площади проходного сечения глушителя.

В частности показано, что при увеличении требуемого снижения шума ΔL от 20 до 40 дБ происходит снижение оптимального значения k от 0,44 до 0,37 за счет роста капитальных вложений в глушитель. По той же причине происходит снижение оптимального значения k 0,6 до 0,34 при увеличении удельной стоимости глушителя $k_{ст}$ от 10000 до 100000 руб/м³.

Проанализировано влияние изменения цены электроэнергии — при ее увеличении от 1 до 6 руб/(кВт·ч) оптимальное значение k возрастает от 0,31 до 0,5, так как увеличиваются затраты, связанные с недовыработкой электроэнергии за счет аэродинамического сопротивления глушителя.

Показано влияние изменения режима работы ГТУ, который можно охарактеризовать годовой выработкой электроэнергии. При увеличении годовой выработки электрической электроэнергии от 50 до 250 млн. кВт·час/год оптимальное значение k увеличивается от 0,31 до 0,44. Это происходит из-за

роста затрат, связанных с недовыработкой электроэнергии за счет аэродинамического сопротивления глушителя, которые пропорциональны вырабатываемой за год электроэнергии.

ВЫВОДЫ

1. Показано, что шумовое воздействие на окружающий район является основным негативным экологическим фактором, характерным для эксплуатации энергоблоков ГТУ с котлами-утилизаторами. Наименее изученным до настоящего времени является шум, излучаемый выхлопным трактом ГТУ.
2. Проанализированы шумовые характеристики выхлопа различных марок ГТУ средней и большой мощности. Показано, что в диапазоне нормируемых среднегеометрических частот от 31,5 до 8000 Гц уровни звуковой мощности выхлопа ГТУ распределены неравномерно и их распределение определяется индивидуальными особенностями ГТУ. Получена зависимость (1) суммарного уровня звуковой мощности в от электрической мощности ГТУ.
3. Получены новые экспериментальные данные по снижению шума в поверхностях нагрева водогрейных котлов-утилизаторов средней тепловой мощности российского и зарубежного производства. Показано, что снижение уровня звуковой мощности в пакетах котлов-утилизаторов увеличивается с ростом среднегеометрической частоты. При этом снижение на низких и средних частотах составляет единицы дБ, на высоких частотах — десятки дБ. Предложена формула (3), позволяющая рассчитывать снижение уровня звуковой мощности в котле-утилизаторе в зависимости от поверхности нагрева.
4. Рассчитаны размеры санитарно-защитных зон по фактору шума от энергоблоков с ГТУ средней и большой мощности. Установлено, что они значительно превышают минимальные нормативно-установленные размеры и

делают невозможным эксплуатацию ГТУ с котлом-утилизатором в городской черте без применения шумоглушения выхлопного тракта ГТУ. Показано, что размер санитарно-защитной зоны определяется индивидуальными акустическими особенностями энергоблока ГТУ с котлом-утилизатором и не зависит от его электрической мощности.

5. Разработан метод оценки оптимального значения площади проходного сечения пластинчатого глушителя, устанавливаемого в выхлопном тракте ГТУ, с учетом как технических особенностей работы ГТУ, так и современных экономических требований к оценке финансово-экономической эффективности инвестиционных проектов. В качестве критерия оптимизации принят минимум дисконтированных затрат. Проанализировано влияние изменения различных факторов на значение оптимальной площади проходного сечения глушителя.
6. Результаты работы использованы при разработке проекта стандарта организации ОАО РАО «ЕЭС России» «ТЭС. Экологическая безопасность. Акустическое воздействие (шум)», а также при разработке рекомендаций по снижению шума газовых трактов котлов-утилизаторов КУВ-69,8-150 для ГТЭС «Поселок Северный», П-132 для Киришской ГРЭС, П-111 для ТЭЦ-9 филиал ОАО «Мосэнерго».

Основное содержание диссертации отражено в следующих публикациях:

1. Семин С.А., Тунов В.Б. Метод оптимизации конструкции абсорбционного глушителя выхлопного тракта ГТУ // Теплоэнергетика. 2008. № 3. С. 74–77.

2. Тунов В.Б., Семин С.А. Разработка глушителей для уменьшения шумового воздействия от ГТУ с котлами-утилизаторами // Строительная физика в XXI веке: Материалы научно-технической конференции / Под ред. И.Л. Шубина. – М.: НИИСФ РААСН, 2006. – С. 315 – 318.

3. Семин С.А., Тупов В.Б. Шум от выхлопных трактов ГТУ небольшой мощности с котлом-утилизатором // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика. Тез. докл. Двенадцатой Международной научн.-техн. конференции студентов и аспирантов: В 3-х т. — М.: МЭИ, 2006. Т.3. С. 144–145.

4. Семин С.А., Тупов В.Б. Оценка снижения уровня звуковой мощности в котле-утилизаторе // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика. Тез. докл. Тринадцатой Международной научн.-техн. конференции студентов и аспирантов: В 3-х т. — М.: МЭИ, 2007. Т.3. С. 114–115.

5. Семин С.А., Тупов В.Б. Метод расчета снижения шума в экономайзерных пакетах котлов-утилизаторов // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика. Тез. докл. Четырнадцатой Международной научн.-техн. конференции студентов и аспирантов: В 3-х т. — М.: МЭИ, 2008. Т.3. С. 116–117.

Подписано к печати 14.04.08г.

Печ. л. 1,25

Тираж 100

Заказ 41