

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. Р. Е. АЛЕКСЕЕВА»

Кафедра «Производственная безопасность, экология и химия»

АКУСТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ТЭС С ГТУ

*Методические указания по выполнению практических работ по курсу
“Экологическая безопасность” для бакалавров и магистров очной и заочной
форм обучения по направлениям подготовки
13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника», 13.04.02 «Электроэнергетика и
электротехника», 20.04.01 «Техносферная безопасность»*



г. Н. Новгород, 2024

Составители: О.В.Маслеева, Т.И. Курагина, Т.В. Кирилловых

УДК 621.311.25:621.039(075.8)

Акустический расчёт ТЭС с ГТУ: методические указания к выполнению практических работ по курсу “Экологическая безопасность” для бакалавров и магистров очной и заочной форм обучения по направлениям подготовки 140100 «Теплоэнергетика и теплотехника», 140400 «Электроэнергетика и электротехника», 280700 «Техносферная безопасность»/ НГТУ; сост.: О.В.Маслеева и др., Н. Новгород, 2024. - 27с.

Даны краткие сведения из теории, методика расчёта шумов и варианты заданий для практических работ.

Редактор Э.Б. Абросимова

Подп. к печ. .2024. Формат 60x841/16. Бумага газетная.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. 2,25. Тираж 30 экз. Заказ .

Нижегородский государственный технический университет им.
Р.Е.Алексеева. Типография НГТУ. 603950. Н. Новгород, ул. Минина, 24.

© Нижегородский
государственный
технический
университет
им. Р. Е. Алексеева,

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

- Изучить параметры шума,
- научиться определять допустимые значения
- изучить источники шума на ТЭС,
- выполнить акустический расчёт.

2. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ

Природа не безмолвна, но не бесшумна. Тысячи процессов совершаются в недрах Земли, в глубинах вод, лесах и пустынях почти бесшумно. Только некоторые из них тревожат людской слух: извержение вулкана, ледоход, гроза, шторм. Но миллионы лет протекали эти процессы, и человек привык к этим звукам, и они почти не раздражают его. Естественные акустические условия необходимы человеческому организму как нормальное питание, нормальные температурные условия и свежий воздух.

Долгое время шум считали неизбежным злом цивилизации, побочным продуктом технического прогресса, бурного развития техники и увеличения количества транспорта. И мало кто предполагал, что шум достигнет такого уровня, что будет уже не просто неприятен для слуха, но и вреден для здоровья.

2.1. Параметры шума

Звук — это механические колебания воздуха, воспринимаемые через органы слуха.

Шум — это совокупность аperiodических звуков различной интенсивности и частоты, неблагоприятно воздействующих на организм человека.

Человек воспринимает звуки, частотой от 20 до 20000 Гц. Весь диапазон частот разбит на поддиапазоны (октавы).

Октава — это диапазон частот, у которого верхняя частота в 2 раза выше нижней.

$$f_{\text{В}} = 2 \cdot f_{\text{Н}}$$

Характеристикой октавы является среднегеометрическая частота.

$$f_{\text{СГ}} = \sqrt{f_{\text{В}} \cdot f_{\text{Н}}}$$

Первая октава: $f_{\text{Н}} = 22 \text{ Гц}$ $f_{\text{В}} = 44 \text{ Гц}$ $f_{\text{СГ}} = 31,5 \text{ Гц}$

Вторая октава: $f_{\text{Н}} = 44 \text{ Гц}$ $f_{\text{В}} = 88 \text{ Гц}$ $f_{\text{СГ}} = 63 \text{ Гц}$

Для оценки величины шума введена величина L_p - логарифмический уровень звукового давления, дБ

$$L_p = 20 \cdot \lg \frac{P}{P_0} \quad (1)$$

где L_p – логарифмический уровень звукового давления источника, дБ,
 P – звуковое давление источника, Па,
 P_0 – пороговое значение звукового давления ($P_0=2 \cdot 10^{-5}$ Па - порог слышимости на частоте 1000 Гц).

2.2. Влияние шума на организм человека

Человек всегда жил в мире звуков, и абсолютная тишина его пугает и угнетает. Каждый человек воспринимает шум по-своему. Многое зависит от возраста, здоровья, окружающих условий. В условиях городского шума происходит постоянное напряжение слухового аппарата. Это вызывает увеличение порога слышимости на 10 - 25 дБ. В первую очередь человек начинает хуже слышать высокие звуки, а затем постепенно и низкие.

Длительное воздействие шума приводит к частичной или полной потере слуха. Действие шума на организм не ограничивается воздействием на орган слуха. Через волокна слуховых нервов раздражение передается на центральную нервную систему, а через неё воздействует на внутренние органы, приводя к изменениям в функциональном состоянии организма. Человек, подвергающийся воздействию шума, затрачивает на 20% больше физических усилий.

Особенно опасны шумы во время сна. Они вызывают кошмарные видения, и после пробуждения человека долго не покидает нервное возбуждение. Это может привести к психическим заболеваниям. Таким образом, шум наносит большой социальный и экономический ущерб.

Шум с уровнем звукового давления до 30...35 дБ привычен для человека и не беспокоит его. Повышение этого уровня до 40...70 дБ в условиях среды обитания создает значительную нагрузку на нервную систему, вызывая ухудшение самочувствия и при длительном действии может быть причиной неврозов. Воздействие шума уровнем свыше 75 дБ может привести к потере слуха – профессиональной тугоухости. При действии шума высоких уровней (более 140 дБ) возможен разрыв барабанных перепонки, контузия, а при еще более высоких (более 160 дБ) и смерть

Шум, как экологический фактор, приводит у человека к повышению

утомляемости, снижению умственной активности, неврозам, росту сердечно - сосудистых заболеваний, ухудшению слуха, зрения и т.п. Жители шумных районов чаще болеют сердечно - сосудистыми заболеваниями (на 20 %), нарушения нервной системы (на 20 %). Шумовое раздражение приводит к расстройствам сна, влияет на эффективность отдыха, могут привести к состоянию хронической усталости, сонливости и прочее.

В больших городах сокращается продолжительность жизни на 8 - 12 лет. Более половины населения проживает в зоне с шумом 55 - 65 дБ.

2.3. Нормирование шума

Санитарные правила и нормы СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания" устанавливают классификацию шумов; нормируемые параметры и предельно допустимые уровни шума на рабочих местах, допустимые уровни шума в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки (табл.1).

Таблица 1

Допустимые уровни звукового давления

Место	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука, дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Жилые комнаты квартир:										
с 7 до 23 ч.	79	63	52	45	39	35	32	30	28	40
с 23 до 7 ч.	72	55	44	35	29	25	22	20	18	30
Территории, прилегающие к жилым домам:										
с 7 до 23 ч.	90	75	66	59	54	50	47	45	44	55
с 23 до 7 ч.	83	67	57	49	44	40	37	35	33	45

Классификация шумов, воздействующих на человека.

1. По характеру спектра шума выделяют:

- широкополосный шум с непрерывным спектром шириной более 1 октавы;
- тональный шум, в спектре которого имеются выраженные тоны.

2. По временным характеристикам шума выделяют:

- постоянный шум, уровень которого изменяется во времени не более чем на 5 дБ;

- непостоянный шум, уровень которого изменяется во времени более чем на 5 дБ.

3. По источнику образования выделяют:

- механический,
- аэродинамический (компрессор),
- гидродинамический (насос),
- электромагнитный (трансформатор).

При гигиеническом нормировании в качестве допустимого устанавливается такой уровень шума, действие которого в течение длительного времени не вызывает физических изменений в организме.

Нормируемыми параметрами являются уровни звукового давления в 8 октавных полосах с частотой 63, 125, 250, 1000, 2000, 4000, 8000 Гц.

2.4. Источники шума на ТЭС

На рис. 1 представлена технологическая схема ТЭС, работающей на газе.

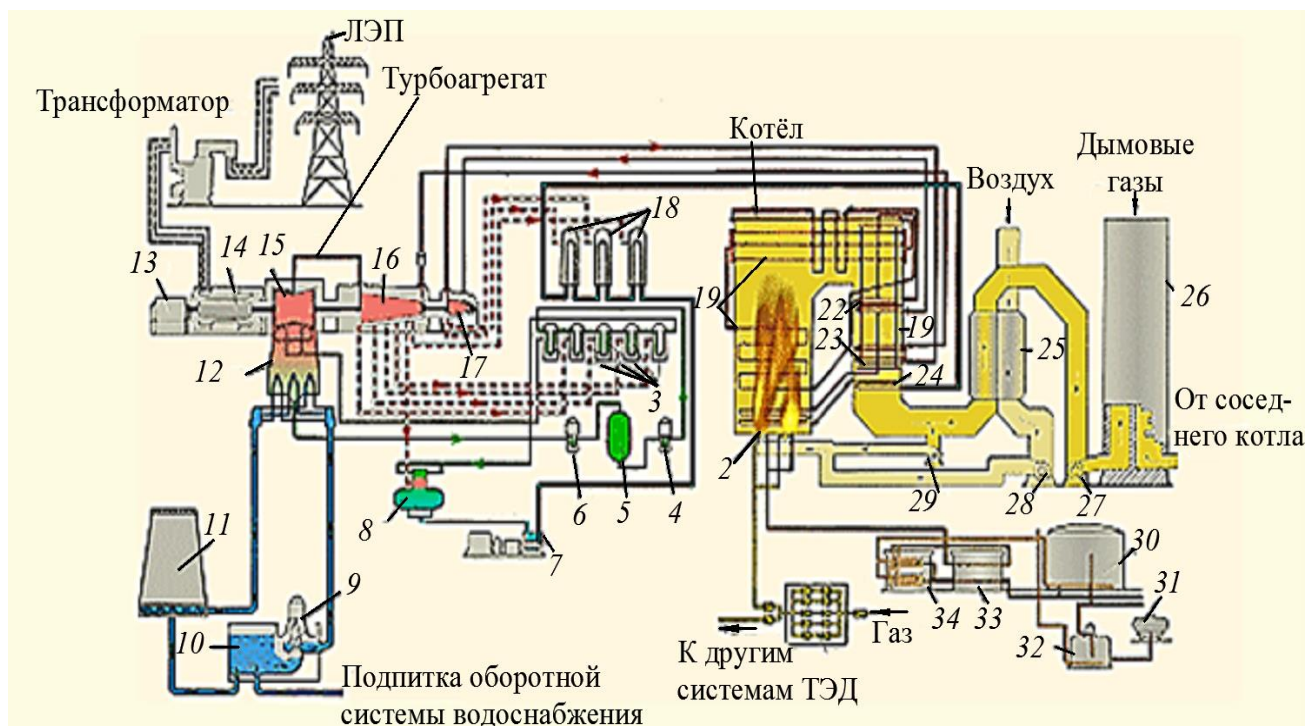


Рис. 1. Технологическая схема ТЭС, работающей на газе

На рис. 1 имеются обозначения: 1 – газораспределительный пункт (ГРП); 2 – горелки; 3 - регенеративные подогреватели низкого давления (ПНД); 4 - конденсатный насос II подъёма; 5 – блок конденсатоочистки; 6 – конденсатный насос I подъёма; 7 – питательный насос; 8 – деаэратор; 9 – циркуляционный насос; 10 – аванкамера; 11 – градирня; 12 –

конденсатор; 13 – возбудитель электрогенератора; 14 – электрический генератор; 15 – цилиндр низкого давления (ЦНД); 16 – цилиндр среднего давления (ЦСД); 17 – цилиндр высокого давления (ЦВД); 18 – регенеративные подогреватели высокого давления (ПВД); 19 – экраны; 20 – потолочный элемент основного подогревателя; 21 – ширмовый элемент основного подогревателя; 22 – конвективный элемент основного подогревателя; 23 – промежуточный пароперегреватель; 24 – экономайзер; 25 – воздухоподогреватель; 26 – дымовая труба; 27 – дымосос; 28 – дутьевой вентилятор; 29 – вентилятор рециркуляции; 30 – мазутный резервуар; 31 – железнодорожный состав из цистерн мазута; 32 – приёмный резервуар мазута; 33 – насосы перекачки мазута; 34 – подогреватель мазута

Основными источниками шума для окружающего района от ТЭС являются тягодутьевые машины, насосы, вентиляторы, градирни, сбросы пара в атмосферу и открытое распределительное устройство.

Уровень звука в наиболее шумных помещениях ТЭС представлен в табл. 2.

Таблица 2

Уровень звука в наиболее шумных помещениях ТЭС

Наименование помещения	Уровень звука, дБА
Турбинный цех	85-101
Компрессорная	89-102
Газораспределительный пункт (ГРП)	90-105

Тягодутьевые машины

Тягодутьевые машины (ТМ) обеспечивают принудительную тягу на всех паровых и водогрейных котлах. В качестве вентиляторов и дымососов применяют радиальные машины одно — или двухстороннего всасывания.

Эксплуатация ТМ, особенно осевых, без специальных мер по шумоглушению, связана с излучением шума, превышающим санитарные нормы для рабочих мест и окружающего района. За основную характеристику шума от ТМ приняты уровни звуковой мощности, которые для современных осевых машин составляют до 140-150 дБ, а для центробежных — до 135 дБ.

Шум, излучаемый от ТМ, имеет характерные тональные составляющие, наличие которых вредно действует на человека.

Шум ТМ имеет в основном аэродинамическую природу происхождения. У правильно выполненной и эксплуатируемой ТМ механический шум от подшипников, так же как и шум, передаваемый по стенкам конструкций от корпуса к газоходам (структурный шум), при наличии компенсаторов, как правило, незначителен.

Различают три пути распространения шума, влияющего на окружающую среду: от корпуса, воздухозабора дутьевого вентилятора, устья дымовой трубы, излучаемого шум от дымососов.

Последние два пути распространения шума, особенно из устья трубы, наиболее опасны для окружающего района. Это связано с тем, что шум, излучаемый с высоты, не снижается за счет естественных и искусственных наземных препятствий.

Насосы

В помещениях ТЭС устанавливается большое количество насосов различного назначения: питательные, циркуляционные, конденсатные, сетевые, багерные и др. (рис. 2).



Рис. 2. Внешний вид насосов

Шум в насосах может возникать по разным причинам. Это может быть неправильный монтаж оборудования или выход из строя некоторых элементов. Базовыми источниками шума в насосах принято считать систему воздушного охлаждения двигателя и подшипники качения. Эти потенциальные источники шума неразрывно связаны с мощностью двигателя насоса и частотой вращения.

Также может выделить и другие причины, по которым может возникать шум от насоса: повреждение подшипников; не зафиксированный корпус устройства; кавитация с вибрацией и резкими шумами; вибрация, которая передается к трубам и строительным конструкциям.

Градирни

Градирни применяются на предприятиях для охлаждения воды, широкое использование которых обусловлено тем, что для их размещения требуется значительно меньшая площадь по сравнению с другими типами охладителей. В нашей стране получили применение противоточные градирни с естественной тягой.

Шум в градирнях вызывает свободное падение воды. Излучаемая звуковая мощность пропорциональна расходу воды, скорости водяных капель в момент падения и глубине воды в бассейне. При больших плотностях застройки шум от градирен может стать важным слагаемым в общем шумовом фоне.

шумовой спектр градирни имеет примерно равные характеристики для октавных полос со среднегеометрическими частотами от 500 до 8000 Гц и несколько сниженными для частот менее 500 Гц. Уровень звука на расстоянии 1 м от окон градирен находится в диапазоне от 80 до 87 дБА.

С уменьшением глубины бассейна градирни снижается уровень излучаемой звуковой энергии. Поэтому рекомендуется делать бассейны с дном конусообразной формы, которая обеспечивает стекание воды к краям бассейна градирни. При этом орошаемая часть дна имеет минимальную глубину.

У градирен, где для интенсификации охлаждения используют вентиляторы, наряду с шумом падения воды существует шум, излучаемый вентиляторами. Поэтому рекомендуется использовать для охлаждения воды малошумные вентиляторы: тихоходные вентиляторы с большим диаметром лопастей.

Сбросы пара в атмосферу

Наиболее мощным источником шумового воздействия на окружающую среду является выброс пара в атмосферу, при котором происходит временное превышение уровня звука на 30 — 40 дБА в радиусе нескольких километров.

Паровые выбросы происходят при пускоостановочных операциях на котлах и во многих случаях, являются обязательными в технологическом процессе. Шум образуется за счет сильной турбулизации струи парового потока.

Открытое распределительное устройство

Источниками постоянного шума открытого распределительного устройства (ОРУ) являются силовые трансформаторы (рис. 3.),

высоковольтные линии электропередачи, источником временного шума — выключатели.



Рис. 3. Трансформаторы ОРУ

Шум в трансформаторах вызывается магнитоакустическими колебаниями пластин электротехнической стали сердечника трансформатора. Вызванная ими вибрация передается через масло и узлы сопротивления активной части с баком, самому баку и от него по воздуху в виде звуковых колебаний волн разной частоты. Особенно сильный шум исходит от крышки бака. Добавочными источниками шума являются колебания самого бака и связанных с ним конструкций. Для охлаждения некоторых трансформаторов используются вентиляторы, которые также являются источниками шума.

Уровень шума практически не зависит от загрузки трансформаторов и номинального напряжения, главные его факторы — номинальная мощность и размеры трансформатора. Шум трансформатора состоит из колебаний с частотами, кратными рабочей частоте, а именно: 100, 200, 300 и других вплоть до 4000 - 6000 Гц. У мощных трансформаторов наиболее характерны низкие частоты и только для охлаждающих вентиляторов выявлены более высокие частоты, быстро затухающие с удалением от трансформатора.

Шумовые характеристики трансформаторов рассчитываются в дБА. Это связано с тем, что многочисленные исследования показали максимальное превышение при измерениях по шкале *A*, а не в октавных полосах частот.

Уровни звука на расстоянии 1 м от трансформатора на высоте 1,5 м от земли в зависимости от его мощности представлены в табл. 3.

Таблица 3

Уровни звука на расстоянии 1 м от трансформатора

Мощность трансформатора, МВА	10	25	40	200	500	600	1000
Уровень звука $L_{A \text{ экв}}$	70	75	76	80	82	85	90

Шум от коронирования проводов на расстоянии 100 м от них в зависимости от напряжения приведен в табл. 4. На уровень шума от высоковольтных линий электропередачи влияет погода. Наибольшие значения уровня шума получаются при дожде и наименьшее при хорошей погоде.

Таблица 4

Уровень шума от коронирования проводов

Напряжение, кВ	400	750	1050	1150
Уровень звука при дожде, дБА	40	49	51-57	55-62

Компрессорные установки

Компрессорные установки установлены на большом количестве предприятий, в том числе на ТЭС (рис.4). Основными источниками шума на компрессорных станциях являются всасывающий и выхлопной тракты.

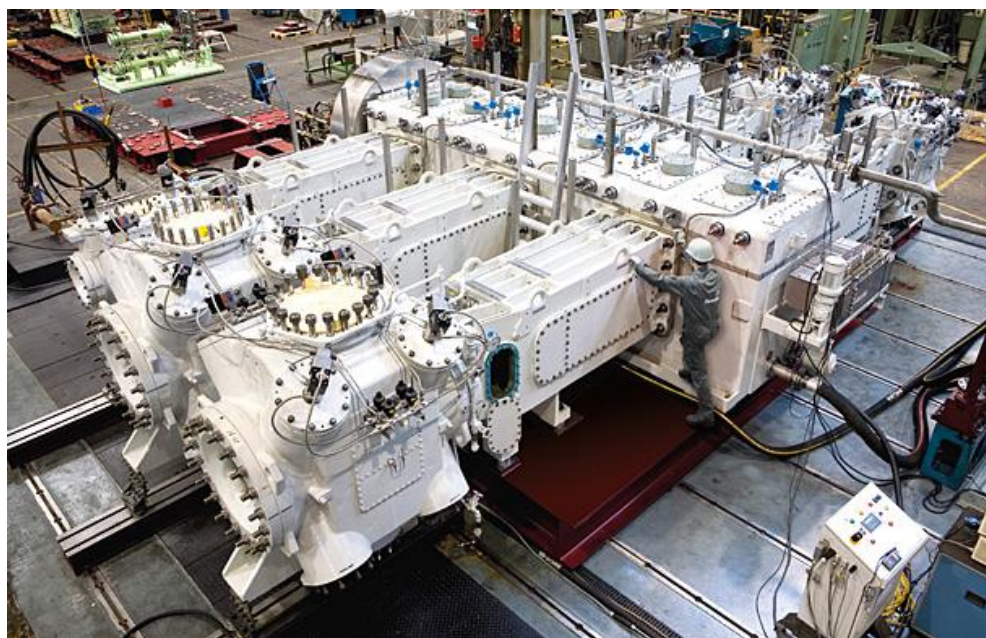


Рис. 4. Внешний вид компрессорных установок

Вибрации компрессора могут быть связаны с неточностями, допущенными при монтаже, или нарушениями режима его опробования и обкатки. К первым относятся: неправильная центровка осей валов

компрессора, редуктора и электродвигателя, небрежная установка опорных подкладок между основаниями агрегата и фундаментом, которые остаются в бетоне подливки и при первых же пусках или длительной работе теряют первоначальное положение и влекут расцентровку машины.

Расцентровку может вызвать неравномерная осадка фундамента и сопутствующая деформация корпусов. Нарушение центровки вызывают и усилия, возникающие от температурных смещений трубопроводов, присоединенных к компрессору, жесткое закрепление корпусов, препятствующих их линейному перемещению при нагревании, и другие причины, влияющие на стабильность линии осей валов агрегата.

Газотурбинные установки

Широкое применение на ТЭС получили ГТУ, в которых сжигается высококачественное органическое топливо: преимущественно природный газ, реже жидкое газотурбинное топливо или высококачественный мазут.

Из энергетического оборудования газотурбинные установки (ГТУ) являются одними из самых мощных источников постоянного шума для окружающей среды. ГТУ (рис. 5) используются для покрытия максимума нагрузки в электрических системах, широко устанавливаются на газоперекачивающих станциях. Возможность быстрого монтажа, возросшая экономичность этих установок, компактность оборудования делает перспективным установку ГТУ для покрытия не только пиковой нагрузки. Возможность широкого внедрения ГТУ будет определяться во многом шумовыми характеристиками оборудования, его шумовым влиянием на окружающий район.



Рис. 5. Внешний вид ГТУ

Различают шумы, излучаемые от ГТУ через воздухозаборный и выхлопной тракты, а также от корпуса агрегата. Первые два пути распространения шума от ГТУ являются наиболее интенсивными по воздействию на окружающую среду.

Через воздухозаборный тракт в атмосферу излучается шум, который имеет аэродинамическую природу. Шум, излучаемый через систему всасывания ГТУ, обусловлен переменными аэродинамическими силами взаимодействия турбулизированного воздуха от ротора и статора компрессора, а также явлениями неустойчивости турбулентного потока. В спектре шума всасывания ГТУ имеются тональные составляющие характерные для вихревого и сиренного шума. Основная частота вихревого шума для газотурбинных установок (50 — 160 Гц) пропорциональна числу оборотов в секунду. Наиболее интенсивные тональные составляющие приходятся на частоты сиренного шума, которые равны произведению числа лопаток ротора на число оборотов в секунду. Для газовых турбин сиренная частота лежит в пределах 1000 - 5000 Гц.

Общая звуковая мощность шума всасывания ГТУ зависит от массового расхода воздуха через компрессор, адиабатного напора, наружного диаметра рабочего колеса первой ступени компрессора, адиабатного КПД компрессора.

Уровень звука от шума компрессора ГТУ 100 МВт, излучаемого через воздухозабор без глушителей, составляет 110 дБА на расстоянии 120 м от него. Поэтому на воздухозаборе ГТУ всегда устанавливают глушитель.

Шум, излучаемый выхлопным трактом ГТУ, вызван процессом горения, высокой скоростью прохождения газов через проточную часть турбины и турбулентностью газового потока. Уровень шума, излучаемый от дымовой трубы ГТУ, меньше, чем из системы воздухозабора. Например, уровень звука от дымовой трубы ГТУ 100 МВт без системы шумоглушения составляет на расстоянии 120 м от нее 84 дБА. Максимальные уровни шума приходятся на высокие (4000 — 8000 Гц) и низкие (31 — 125 Гц) частоты.

Средний уровень звука на расстоянии 1 м от поверхности газовых турбин составляет (95±5) дБА, что превышает допустимые нормы для рабочих мест.

3. МЕТОДИКА АКУСТИЧЕСКОГО РАСЧЁТА

3.1. Расчет шума в помещениях с несколькими источниками шума

Расчет шума выполняют в соответствии с СНиП 23-03-2003 «Защита от шума».

Целью акустического расчёта является:

- определение ожидаемых уровней звукового давления в расчётных точках до осуществления мероприятий по снижению шума с учётом снижения уровня шума на пути распространения;
- определение требуемого снижения шума в расчётных точках;
- выбор мероприятий, обеспечивающих требуемое снижение уровней звукового давления в расчётных точках.

Октавные уровни звукового давления L , дБ, в расчетных точках помещения с несколькими источниками шума следует определять по формуле:

$$L_{PT} = 10 \lg \left(\sum_{i=1}^n \frac{10^{0.1L_i} \cdot \chi_i \cdot \Phi_i}{\Omega \cdot r_i^2} + \frac{4}{k \cdot B} \sum_{i=1}^n 10^{0.1L_i} \right) \quad (2)$$

где L_i - октавный уровень звукового давления i -го источника, дБ;

n - общее число источников шума в помещении;

r_i - расстояние от акустического центра источника шума до расчетной точки, м;

χ_i - коэффициент, учитывающий влияние ближнего поля (принимают по табл. 5);

l_{max} - максимальный габарит источника, м

Φ_i - фактор направленности источника шума (для источников с равномерным излучением $\Phi_i = 1$)

Ω - пространственный угол излучения источника, рад. (принимают по табл.6.);

k - коэффициент, учитывающий нарушение диффузности звукового поля в помещении (принимают по табл. 7 в зависимости от коэффициента звукопоглощения α);

B - акустическая постоянная помещения, м², определяемая по формуле 3.

$$B = \frac{A}{1 - \alpha} \quad (3)$$

A - эквивалентная площадь звукопоглощения, м^2 , определяемая по формуле:

$$A = \alpha \cdot S \quad (4)$$

α - коэффициент звукопоглощения поверхности ($\alpha=0,15$ для бетонных стен);

S - площадь стен помещения, м^2 ;

Таблица 5

Коэффициенты, учитывающие влияние ближнего поля

$r/l_{\text{макс}}$	$\leq 0,6$	0,8	1,0	1,2	1,5	≥ 2
χ	3	2,5	2	1,6	1,25	1

Таблица 6

Пространственный угол излучения источника

Условия излучения	Ω , рад.
В пространство - источник на колонне в помещении, на мачте, трубе	4π
В полупространство - источник на полу	2π
В 1/4 пространства - источник в двухгранном углу (на полу близко от одной стены)	π
В 1/8 пространства - источник в трехгранном углу (на полу близко от двух стен)	$\pi/2$

Таблица 7

Значения коэффициента k

Коэффициент звукопоглощения, α	$\leq 0,2$	0,4	0,5	$\geq 0,6$
k	1,25	1,6	2,0	2,5

3.2 Расчет шума, прошедшего через ограждение на территорию

Уровень звукового давления $L_{\text{пр}}$, дБ, прошедшей через ограждение на территорию, рассчитывается по формуле:

$$L_{\text{пр}} = L_{\text{рТ}} - 10 \cdot \lg B - 10 \cdot \lg k + 10 \cdot \lg S - R \quad (5)$$

где $L_{\text{рТ}}$ - уровень звукового давления в расчетной точке помещения, дБ;

B - акустическая постоянная помещения, м^2 ;

k - коэффициент, учитывающий нарушение диффузности звукового поля в помещении,

S - площадь ограждающей конструкции, м^2 ;

R - изоляция воздушного шума ограждением, дБА ($R = 30$ дБ для бетонной стены с металлическими воротами).

3.3. Расчет санитарно-защитной зоны от шума

Степень воздействия каждого источника на окружающий район зависит: от типа и мощности применяемого оборудования, режима его работы, места расположения и ориентации его по отношению к жилому району, от рельефа местности и искусственных препятствий на пути распространения шума и других факторов.

Радиус санитарно-защитной зоны $r_{с.з.}$ для обеспечения ночных норм для жилой территории будет определяться в зависимости от электрической мощности для типовой ТЭС без специальных мероприятий по шумоглушению по формуле:

$$r_{сз} = K_1 \cdot K_2 \cdot N^{1/2} \quad (6)$$

где N — установленная электрическая мощность оборудования, МВт;

K_1 — коэффициент учитывающий вид оборудования и особенности распространения шума;

K_2 — коэффициент учитывающий режим работы.

При стандартной компоновке для большинства ТЭЦ $K_1=35$.

При работе на номинальном режиме $K_2 = 1$

3.4. Расчет шума на территории, прилегающей к жилым домам

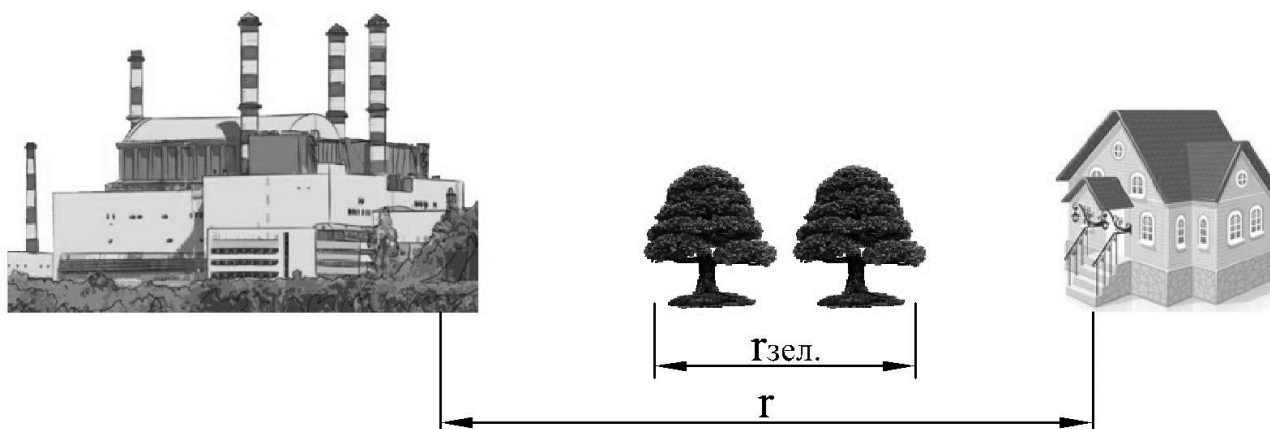


Рис. 6. Расположение источника шума и жилых домов

Звуковые волны, распространяясь в атмосфере, затухают вследствие поглощения звуковой энергии из-за вязкости воздуха по мере удаления от источника шума. Если на пути звуковых волн находятся полосы высоких

(не менее 5м) лесонасаждений (рис. 6), то звук частично отражается от них, рассеивается на деревьях, поглощается рыхлой почвой и листвой.

Уровень звукового давления (дБ) в жилых домах на расстоянии r (м) определяется в 8 октавных полосах частот по формуле:

$$L_{\text{жд}} = L_{\text{пр}} + 10 \cdot \lg \Phi - 10 \cdot \lg(2\pi \cdot r^2) - \beta_a \cdot r - \beta_{\text{зел}} \quad (7)$$

$L_{\text{жд}}$ – уровень звукового давления в жилых домах, дБ;

$L_{\text{пр}}$ – уровень звукового давления шума, прошедшей через ограждение, дБ;

Φ – фактор направленности ($\Phi=1$ при распространении шума во все стороны);

r – расстояние от источника шума до расчётной точки (размер санитарной зоны $r = r_{\text{сз}}$), м;

β_a – коэффициент поглощения звука в воздухе, дБ/м (табл.8);

$\beta_{\text{зел}}$ - снижение шума полосой лесонасаждений, дБ (формула 8);

$$\beta_{\text{зел}} = \beta_{\text{а зел}} \cdot r_{\text{зел}} \cdot \frac{\sqrt[3]{f}}{8} \quad (8)$$

$\beta_{\text{а зел}}$ - снижение уровня звука на 1м ширины лесополосы

($\beta_{\text{а зел}} = 0,08$ дБ/м);

$r_{\text{зел}}$ - ширина полосы лесонасаждений, м;

f - частота, Гц.

Таблица 8

Коэффициент поглощения звука в воздухе в зависимости от температуры воздуха

$t, ^\circ\text{C}$	Коэффициент поглощения звука в воздухе β_a , дБ/м в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
30	0	0,0002	0,0009	0,003	0,0075	0,014	0,025	0,064
20	0	0,0003	0,0011	0,0028	0,0052	0,0096	0,025	0,083
10	0	0,0004	0,001	0,002	0,0039	0,01	0,035	0,125
0	0	0,0004	0,0008	0,0017	0,0049	0,017	0,058	0,156

4. ЗАДАНИЕ К РАБОТЕ

Исходные данные взять по своему варианту в табл.12 и 13. В табл.12 приведены уровни звукового давления, создаваемого источниками шума: ГТД, насосом, компрессором, в табл. 13 приведены: мощность ГТД, размеры ГТУ, размеры здания, ширина лесополосы, температура воздуха.

По своему варианту рассчитать:

- уровни звукового давления в расчётной точке помещения,
- уровни звукового давления снаружи здания,
- размер санитарной зоны,
- уровни звукового давления в 8 октавных полосах частот на границе санитарной зоны.

Результаты расчета оформить в виде табл. 11.

Рассчитанные значения сравнить с допустимыми величинами для жилых домов по табл. 1 и сделать вывод. Начертить график, на котором показать расчетный шум в жилых домах и допустимый (рис. 9).

Начертить план помещения с указанием размеров помещения, оборудования, между оборудованием и расчетной точкой (рис.7).

Принять:

- длина насоса $l_{\text{нас}} = 2$ м,
- расстояние от стены здания до оси оборудования $R = 4$ м,
- длина компрессора и газотурбинного двигателя $l_{\text{комп}} = l_{\text{ГТД}} = 0,5 \cdot l_{\text{ГТУ}}$,
- коэффициент звукопоглощения для бетонных стен $\alpha = 0,15$,
- изоляция воздушного шума ограждением для бетонной стены с металлическими воротами $R = 30$ дБ.

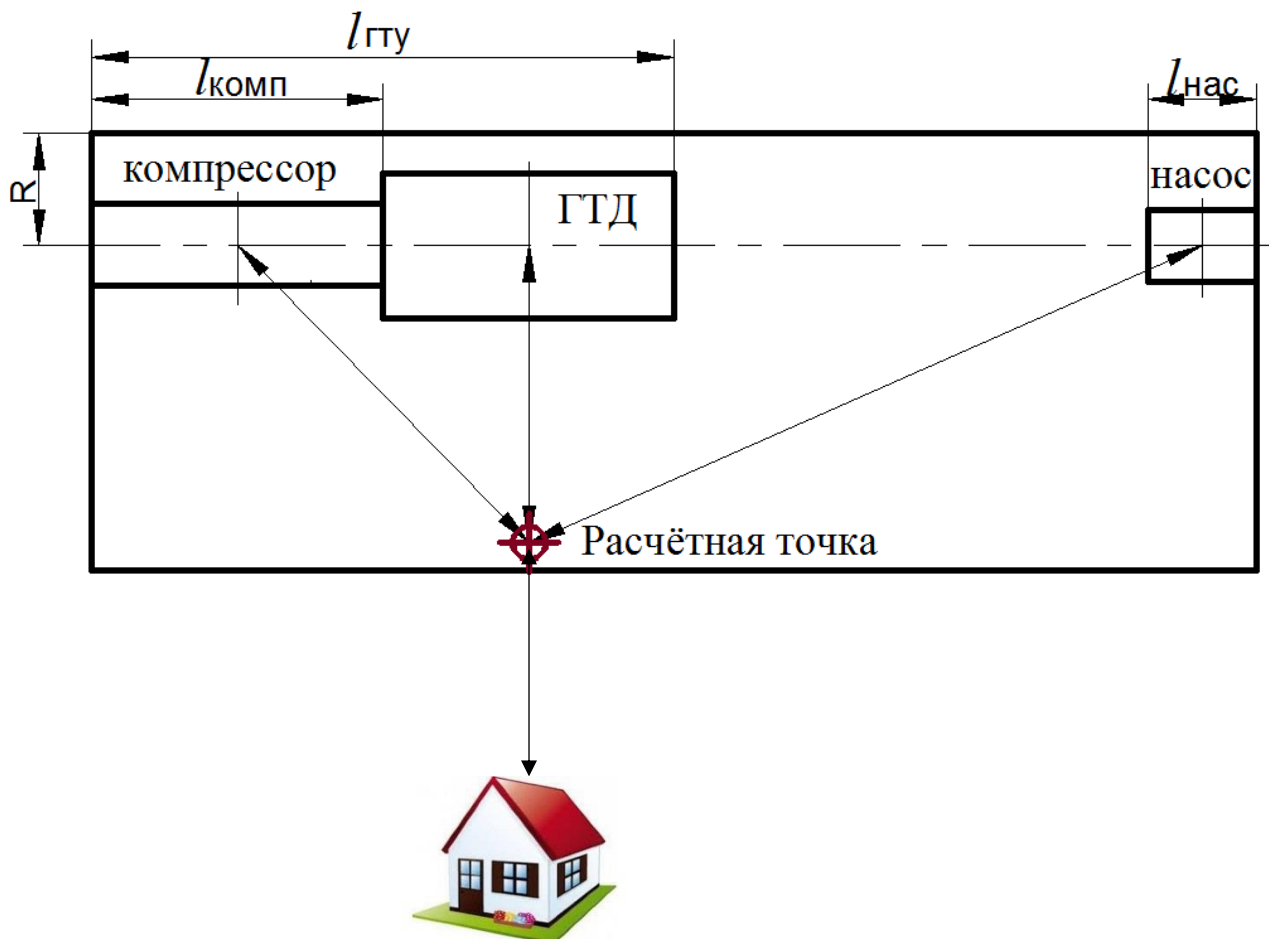


Рис. 7. Планировка помещения с размещением оборудования и жилой дом, расположенный на границе санитарной зоны

5. ПРИМЕР РАСЧЕТА

Таблица 9

Уровни звукового давления, создаваемые источниками шума

Вариант	Оборудование	Уровни звукового давления L_p , дБ, в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами, Гц.							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	ГТД	127	123	116	106	106	110	117	102
	Насос	83	89	83	82	87	87	83	76
	Компрессор	89	84	85	88	85	82	86	79

Таблица 10

Исходные данные для расчета

Вариант	Мощность N , МВт	Размеры ГТУ, м (длина*ширина*высота)	Размеры здания, м (длина*ширина*высота)	$r_{\text{зел}}$, М	t , °С
	10	12*3,2*3,0	30*15*14	15	10

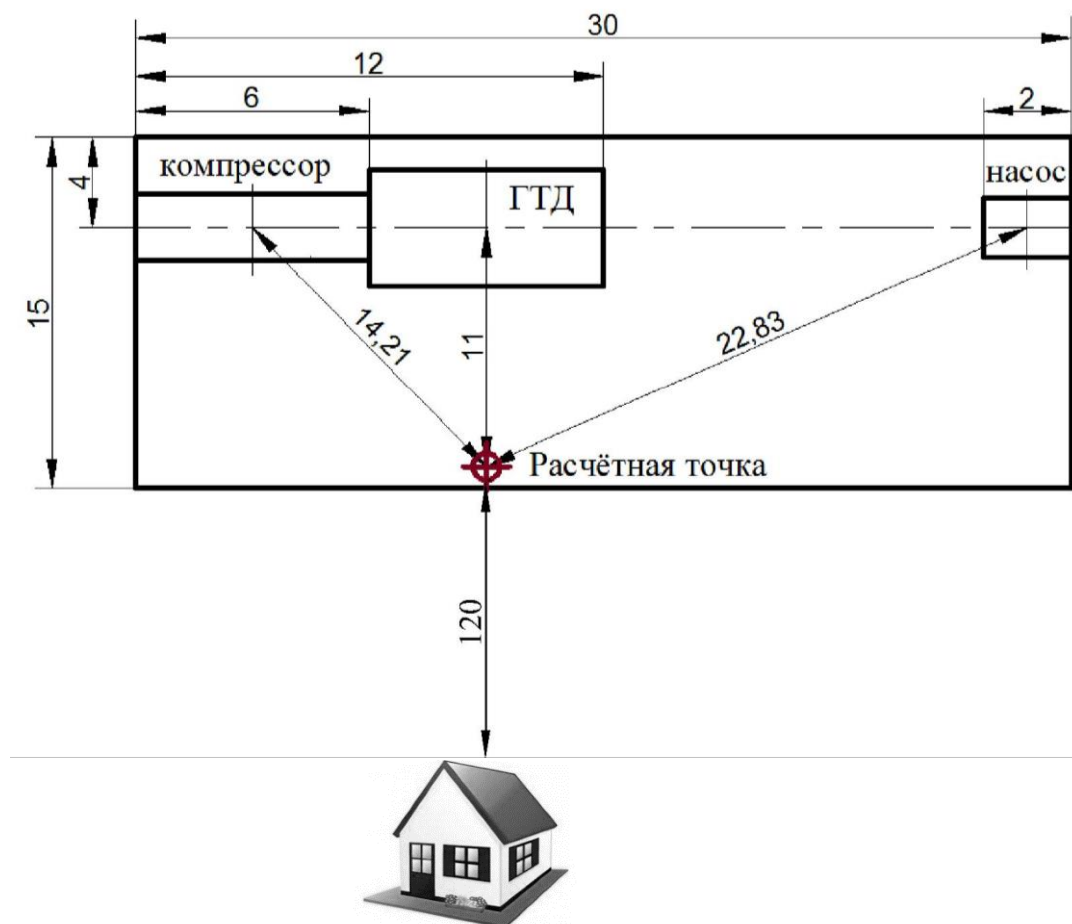


Рис. 8. Планировка помещения с размещением оборудования и жилой дом, расположенный на границе санитарной зоны

ГТУ (газотурбинная установка) состоит из ГТД (газотурбинный двигатель) и компрессора.

Приняли:

- длина насоса $l_{\text{нас}} = 2$ м,
- длина компрессора $l_{\text{комп}} = 0,5 \cdot l_{\text{ГТУ}} = 0,5 \cdot 12 = 6$ м,
- длина ГТД $l_{\text{ГТД}} = 0,5 \cdot l_{\text{ГТУ}} = 0,5 \cdot 12 = 6$ м,
- расстояние от стены здания до оси оборудования $R = 4$ м,
- коэффициент звукопоглощения для бетонных стен $\alpha = 0,15$.

5.1. Расчет шума в помещении с тремя источниками шума

Расстояние от акустического центра источника шума до расчетной точки:

- от компрессора

$$r_{\text{комп}} = \sqrt{(3 + 3)^2 + (15 - 4)^2} = 14,21 \text{ м}$$

- от ГТД

$$r_{\text{ГТД}} = 15 - 4 = 11 \text{ м}$$

- от насоса

$$r_{\text{нас}} = \sqrt{(30 - 6 - 3 - 1)^2 + (15 - 4)^2} = 22,83 \text{ м}$$

Максимальный габарит источника:

- $l_{\text{комп}} = 6$ м,

- $l_{\text{ГТД}} = 6$ м,

- $l_{\text{нас}} = 2$ м,

Коэффициент, учитывающий влияние ближнего поля (табл. 5)

- компрессор

$$\frac{r_{\text{комп}}}{l_{\text{комп}}} = \frac{14,21}{6} = 2,37$$

$$\chi_{\text{комп}} = 1$$

- ГТД

$$\frac{r_{\text{ГТД}}}{l_{\text{ГТД}}} = \frac{11}{6} = 1,83$$

$$\chi_{\text{ГТД}} = 1$$

- насос

$$\frac{r_{\text{насос}}}{l_{\text{насос}}} = \frac{22,73}{2} = 11,42$$

$$\chi_{\text{насос}} = 1$$

$\Phi = 1$ фактор направленности для источников с равномерным излучением.

$\Omega = 2\pi$ для источника, расположенного на полу (табл. 6).

$k = 1,25$ коэффициент, учитывающий нарушение диффузности звукового поля в помещении (табл. 7) для коэффициента звукопоглощения бетонных стен $\alpha=0,15$.

Площадь стен помещения:

$$S = 14 \cdot (2 \cdot 15 + 2 \cdot 30) = 1260 \text{ м}^2$$

Эквивалентная площадь звукопоглощения:

$\alpha=0,15$

$$A = \alpha \cdot S = 0,15 \cdot 1260 = 189 \text{ м}^2$$

Акустическая постоянная помещения:

$$B = \frac{A}{1 - \alpha} = \frac{189}{1 - 0,15} = 222 \text{ м}^2$$

Октавные уровни звукового давления L , дБ, в расчетной точке помещения с тремя источниками шума:

Для частоты $f = 63$ Гц

$$L_{\text{РТ}} = 10 \cdot \lg \left(\frac{1 \cdot 1 \cdot 10^{0,1 \cdot 127}}{2 \cdot \pi \cdot 11^2} + \frac{1 \cdot 1 \cdot 10^{0,1 \cdot 83}}{2 \cdot \pi \cdot 22,83^2} + \frac{1 \cdot 1 \cdot 10^{0,1 \cdot 89}}{2 \cdot \pi \cdot 14,21^2} + \frac{4}{1,25 \cdot 222} \cdot (10^{0,1 \cdot 127} + 10^{0,1 \cdot 83} + 10^{0,1 \cdot 89}) \right) = 108,97 \text{ дБ}$$

Результаты расчета записаны в табл.11.

5.2 Расчет шума, прошедшего через ограждение на территорию

$$B = 222 \text{ м}^2,$$

$$k = 1,25,$$

$$S = 1260 \text{ м}^2,$$

$R=30$ дБ - изоляция воздушного шума.

Уровни звукового давления шума $L_{пр}$, дБ, прошедшего через ограждение на территорию:

Для частоты $f = 63$ Гц

$$L_{пр} = L_{рТ} - 10 \cdot \lg B - 10 \cdot \lg k + 10 \cdot \lg S - R$$

$$L_{пр} = 108,97 - 10 \cdot \lg 222 - 10 \cdot \lg 1,25 + 10 \cdot \lg 1260 - 30 = 85,54 \text{ дБ}$$

Результаты расчета записаны в табл.11.

5.3. Расчет санитарно-защитной зоны от шума ГТУ

$N = 10$ МВт - установленная электрическая мощность газотурбинного двигателя

$K_1 = 35$ - коэффициент учитывающий вид оборудования и особенности распространения шума при стандартной компоновке.

$K_2 = 1$ - при работе на номинальном режиме.

Радиус санитарно-защитная зоны для обеспечения ночных норм для жилой территории (формула 6):

$$r_{сз} = K_1 \cdot K_2 \cdot N^{\frac{1}{2}} = 35 \cdot 1 \cdot 10^{\frac{1}{2}} = 111 \text{ м}$$

Принимаем размер санитарной зоны 120 м.

5.4. Расчет шума на территории, прилегающей к жилым домам

$\Phi = 1$

$r = r_{сз} = 120$ м расстояние от источника шума до расчётной точки.

Коэффициент поглощения звука в воздухе β_a записываем в табл.11 в соответствии с табл.8.

$\beta_{a \text{ зел}} = 0,08$ дБ/м

$r_{\text{зел}} = 15$ м.

Для частоты $f = 63$ Гц

$$\beta_{\text{зел}} = 0,08 \cdot 15 \cdot \frac{\sqrt[3]{63}}{8} = 0,6$$

$$L_{\text{жд}} = L_{пр} + 10 \cdot \lg \Phi - 10 \cdot \lg(2\pi \cdot r^2) - \beta_a \cdot r - \beta_{\text{зел}}$$

$$L_{\text{жд}} = 85,54 + 10 \cdot \lg 1 - 10 \cdot \lg(2\pi \cdot 120^2) - 0 \cdot 120 - 0,6 = 35,38 \text{ дБ}$$

Результаты расчета записаны в табл. 11.

Таблица 11

Результаты расчета

Параметр	Уровни звукового давления L_p , дБ, в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами, Гц.							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Исходные данные:								
- ГТД	127	123	116	106	106	110	117	102
- Насос	83	89	83	82	87	87	83	76
- Компрессор	89	84	85	88	85	82	86	79
Результаты расчета:								
Шум в расчетной точке внутри помещения $L_{\text{рт}}$	108,97	104,97	97,97	88,05	88,05	91,99	98,97	84,00
Шум снаружи здания $L_{\text{пр}}$	85,54	81,54	74,54	64,62	64,62	68,57	75,54	60,57
β_a , дБ/м	0	0,0004	0,001	0,002	0,0039	0,01	0,035	0,125
$\beta_{\text{зел}}$, дБ	0,6	0,75	0,95	1,19	1,5	1,9	2,38	3
Шум на территории, прилегающей к жилым домам, $L_{\text{жд}}$	35,38	31,18	23,92	13,63	13,09	15,91	19,40	-6,99
Допустимые значения шума на территории, прилегающей к жилым домам: (ночью) $L_{\text{доп}}$	67	57	49	44	40	37	35	33

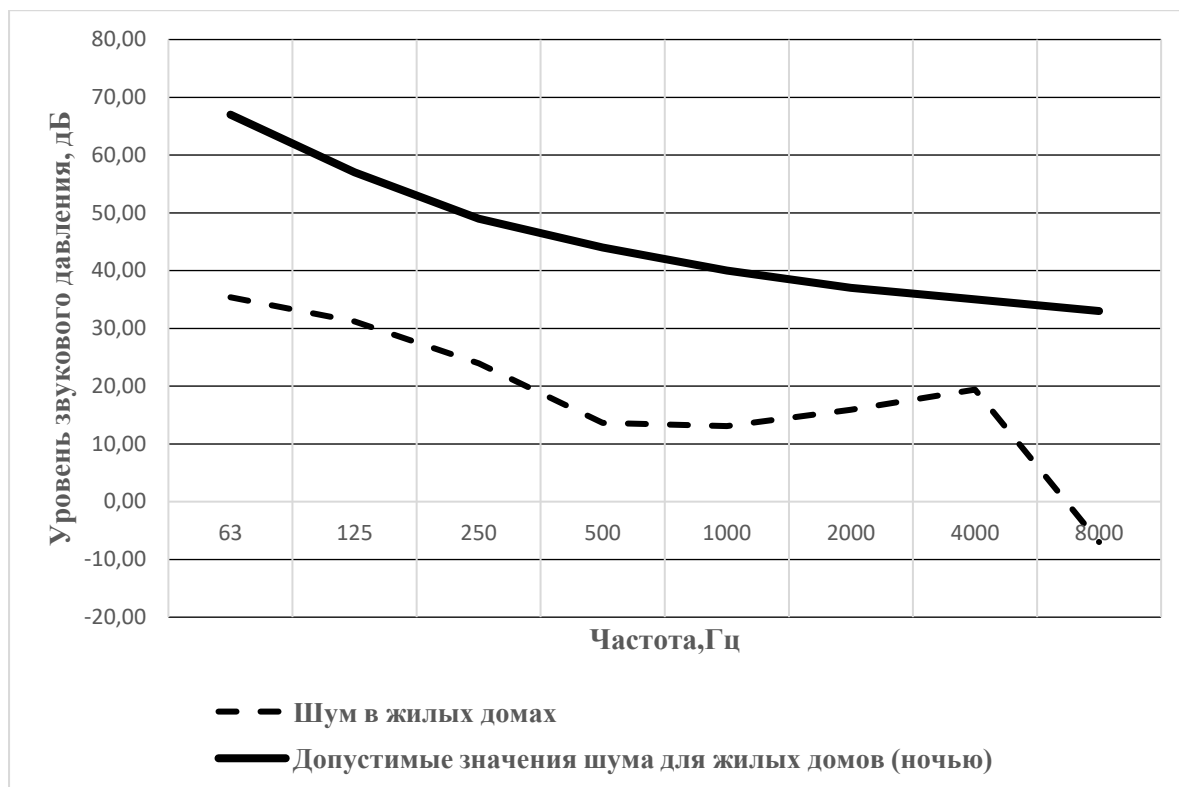


Рис. 9. Расчетные и допустимые уровни звукового давления

Вывод:

На границе санитарной зоны размером 120 м величина шума на территории, прилегающей к жилым домам, ниже допустимого значения.

6. Рекомендуемая литература

1. СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания"
2. СНиП 23.03.2003 Защита от шума.
3. Борьба с шумом на производстве: Справочник / Под ред. Е.Я.Юдина - М.; Машиностроение, 1985, 400 с.
4. Никитин Д.П., Новиков Ю.В. Окружающая среда и человек – М.: Выс. шк., 1986, 415с.
5. Тупов В.Б. Факторы физического воздействия ТЭС на окружающую среду Издательство: МЭИ Год издания: 2012 - 284с.
6. Тупов В.Б. Снижение шумового воздействия от оборудования в энергетике -М.: МЭИ, 2004 г.- 165 с.
7. Каталог оборудования \ <http://www.cogeneration.ru/equipment/>

Таблица 12

Уровни звукового давления, создаваемые источниками шума

№	Оборудование	Уровни звукового давления L_p , дБ, в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами, Гц.							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	ГТД	114	112	105	95	94	99	91	86
	Насос	81	88	81	80	86	86	81	74
	Компрессор	88	81	82	86	82	80	84	78
2	ГТД	115	113	106	96	95	100	92	87
	Насос	85	92	88	88	88	86	83	76
	Компрессор	84	80	82	86	82	82	76	71
3	ГТД	116	114	107	97	96	101	93	88
	Насос	85	89	84	88	89	88	83	75
	Компрессор	82	89	82	89	81	80	75	74
4	ГТД	117	115	108	98	97	102	94	89
	Насос	86	85	98	84	84	76	76	65
	Компрессор	87	98	88	85	89	84	85	84
5	ГТД	118	116	109	99	98	103	95	90
	Насос	90	85	83	97	89	89	87	82
	Компрессор	103	106	102	101	109	96	91	91
6	ГТД	119	117	110	100	99	104	96	91
	Насос	94	87	81	86	95	91	90	85
	Компрессор	107	113	110	104	102	101	94	89
7	ГТД	120	118	111	101	100	105	97	92
	Насос	94	87	86	84	95	87	82	73
	Компрессор	108	112	112	108	105	99	94	88
8	ГТД	122	120	113	103	102	107	99	94
	Насос	95	86	86	85	94	87	81	72
	Компрессор	107	113	110	104	102	101	94	89
9	ГТД	125	121	115	106	105	110	106	97
	Насос	95	87	85	85	85	86	72	72
	Компрессор	124	120	112	104	102	15	101	94
10	ГТД	125	121	115	106	105	110	106	97
	Насос	97	102	100	99	94	94	92	88
	Компрессор	126	122	116	107	106	111	107	98
11	ГТД	127	123	117	108	107	112	108	99
	Насос	94	98	100	99	92	89	88	87
	Компрессор	94	95	113	106	104	97	90	83

Окончание таблицы 12

№	Оборудование	Уровни звукового давления L_p , дБ, в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами, Гц.							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
12	ГТД	129	124	117	108	107	111	119	103
	Насос	93	88	92	89	92	87	84	83
	Компрессор	96	102	105	104	106	98	84	86
13	ГТД	129	124	117	108	107	111	119	103
	Насос	88	92	96	91	92	91	86	88
	Компрессор	103	106	102	101	109	96	91	91
14	ГТД	130	125	118	109	108	112	120	104
	Насос	92	93	94	95	92	96	92	88
	Компрессор	107	113	110	104	102	101	94	89
15	ГТД	131	126	119	110	109	113	121	105
	Насос	88	81	82	86	82	80	84	78
	Компрессор	97	93	91	94	98	89	87	85
16	ГТД	131	127	120	110	111	114	122	105
	Насос	94	96	100	97	96	93	96	89
	Компрессор	106	108	117	118	115	109	106	107
17	ГТД	132	128	121	111	112	115	123	106
	Насос	94	96	94	92	95	97	96	90
	Компрессор	94	95	113	106	104	97	90	83
18	ГТД	133	129	122	112	113	116	124	107
	Насос	91	90	92	94	98	94	89	87
	Компрессор	110	114	101	103	100	97	93	84
19	ГТД	133	130	122	115	114	117	124	108
	Насос	96	96	97	98	98	97	94	89
	Компрессор	108	105	104	99	97	95	96	82
20	ГТД	133	130	122	115	114	117	124	108
	Насос	95	96	97	96	98	95	92	90
	Компрессор	107	113	110	104	102	101	94	89

Таблица 13

Исходные данные для расчета

№	Мощность <i>N</i> , МВт	Размеры ГТУ, м (длина*ширина*высота)	Размеры здания, м (длина*ширина*высота)	<i>r</i> _{зел} , М	<i>t</i> , °С
1	2,5	11,4*2,5*3,7	30*15*14	15	10
2	3	7,8*2,4*2,7	20*15*12	20	20
3	3,4	7,7*2,4*2,6	18*15*12	25	30
4	3.5	8,8*2,4*2,2	22*15*12	10	30
5	4	7,7*2,4*2,6	20*14*12	15	20
6	4.6	8,8*2,5*2,6	24*15*12	20	10
7	5.5	8,8*2,5*2,2	24*15*12	25	0
8	6	9,6*3,2*3,8	24*15*12	10	0
9	6.3	9,8*2,5*3,0	24*14*12	15	10
10	7.8	15*4,7*3,5	30*15*14	20	20
11	8	11,3*2,8*2,4	28*16*14	25	30
12	9,5	14,0*3,6*2,8*	30*15*14	10	30
13	10	14,5*3,7*2,8*	30*15*14	15	20
14	12	11,0*3,2*3,0	30*15*14	20	10
15	15,2	11,2*3,2*3,6	30*15*14	25	0
16	16	11,2*3,6*3,2	30*15*14	10	10
17	18	16,2*3,8*3,6	30*15*14	15	20
18	22,2	18,1*4,2*3,7*	40*15*14	20	30
19	25	10,4*5,3*3,7*	30*15*14	25	30
20	29,7	10,4*5,3*3,7*	30*15*14	10	10