

УДК 699.844.3

С.Н. Хрунков, О.С. Кошелев, А.А. Крайнов, А.А. Чернов
АНАЛИЗ АКУСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ТЕПЛОЭНЕРГОБЛОКА АО «ПАВЛОВСКИЙ АВТОБУС»
НА БАЗЕ ГАЗОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ АО «РУМО»

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Рассмотрены методики проверочного акустического расчета готовой конструкции теплоэнергоблока АО «Павловский автобус». В теплоэнергоблоке размещены двигатели внутреннего сгорания, сетевые и подпиточные насосы.

Ключевые слова: звуковая мощность, акустический комфорт, звукоизоляция, шумовые характеристики энергетической установки, проверочный акустический расчет.

Введение

Меры по звукоизоляции как промышленных, так и транспортных энергетических установок направлены на снижение фактического уровня шума в ограниченном помещении, в котором находится источник шума или снаружи. Использование типовых акустических расчетов энергетических установок, выполненных с звукоизоляцией возможно только с учетом того, что результирующий эффект от мероприятий по звукоизоляции не в полной мере и не с одинаковой эффективностью переносим с одной установки на другую. Можно предположить, что уровень шума не будет одинаковым, поскольку он зависит от мощности и режима работы установки, а также размера, конструкции и оснащении. С целью обеспечения акустического комфорта и выполнения требований строительных норм и правил на предприятии ОАО «Павловский автобус» звукоизоляция теплоэнергоблока выполнена с применением трехслойной панели «Венталл-С» с несгораемым утеплителем из минеральной ваты.

Исходные данные

Шумовые характеристики работающих агрегатов следующие.

1. Октавный уровень звуковой мощности, излучаемой при работе одного двигателя газового Г98, дБ [1, с.74] (табл. 1):

Таблица 1.

Среднегеометрическая частота октавной полосы f, Гц

63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
88	91	96	93	90	91	93	85

2. Октавный уровень звуковой мощности, излучаемой при работе сетевого и подпиточного насосов, дБ [2, с.73] (табл. 2):

Таблица 2.

Среднегеометрическая частота октавной полосы f, Гц

63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
75	84	83	84	87	86	80	73

3. Уровень звуковой мощности выхлопа одного двигателя газового Г98, дБ [1, с.15]: 85.

4. Основные характеристики трехслойной стеновой панели материала «Венталл-С»:

- стандартная толщина $H=80$ мм.
- толщина листа металлических обшивок $s=0,5$ мм;
- плотность минераловатной плиты $\rho=120$ кг/м³.

Методика расчета

Методика расчета заключается в последовательном определении:

- суммарных октавных уровней звуковой мощности в помещении теплоэнергоблока;
- звукоизолирующей способности стен помещения теплоэнергоблока;
- суммарных уровней шума выхлопа двигателей внутреннего сгорания;
- суммарных уровней шума, излучаемого стенами помещения теплоэнергоблока;
- снижения уровня шума при удалении от помещения теплоэнергоблока
- минимального расстояния от теплоэнергоблока до жилой застройки.

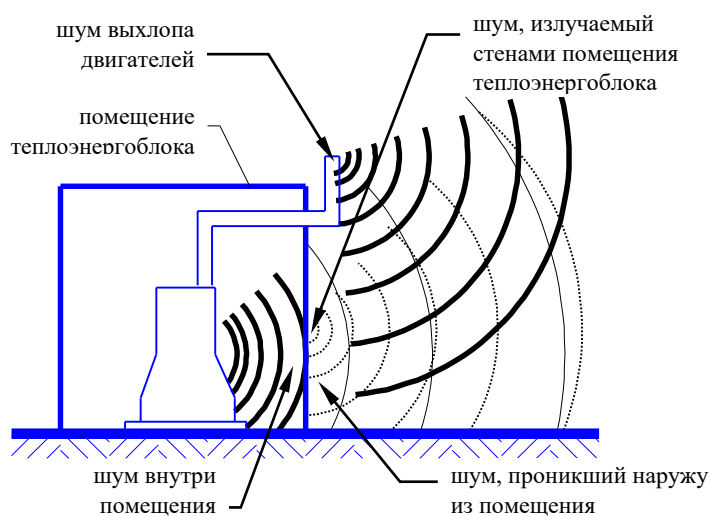


Рис. 1. Методика акустического расчета

Проверочный акустический расчет

1. Определение уровня звуковой мощности в помещении теплоэнергоблока.

При воздействии на одну и ту же точку в пространстве шумов от нескольких источников результирующее их значение определяется суммированием энергии этих источников. Тогда при одинаковой интенсивности источников уровень звуковой мощности относительно пороговой мощности $N=10-12$ Вт [3, с.53]:

$$L_{\Sigma} = L_f + 10 \cdot \log n, \quad (1)$$

где L_f – октавный уровень звуковой мощности, излучаемый одним источником [1, с. 13 п.1.3.6];

$n=4$ – количество источников шума.

При разной интенсивности источников уровень звуковой мощности относительно пороговой мощности $N=10-12$ Вт [4, с. 53]:

$$L_{\Sigma} = L_{\max} + \Delta L, \quad (2)$$

где L_{\max} – октавный уровень звуковой мощности, излучаемый источником максимальной интенсивности [2, с. 53];

ΔL – добавка, определяемая разностью уровней двух источников (табл. 3) [4, п.4.4].

Таблица 3.

Разность двух складываемых уровней, дБ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20
Добавка к более высокому уровню, необходимая для получения суммарного уровня, дБ	3	2,5	2	1,8	1,5	1,2	1	0,8	0,6	0,5	0,4	0,2	0

Октавные уровни шума в помещении в зоне прямого и отраженного звука [3, п.4.2]:

$$L_{отр} = L_{\Sigma} + 10 \cdot \log \left(\frac{\chi \cdot \Phi}{S} + \frac{4 \cdot \psi}{B} \right), \quad (3)$$

где L_{Σ} суммарные октавные уровни звуковой мощности в помещении теплоэнергоблока, дБ;

$\chi=1,0$ – коэффициент, учитывающий влияние ближнего акустического поля [2, п.4.2];

$\Phi=1,0$ – фактор направленности источника шума [3, п.4.2];

$S=4\pi r^2=314$ – площадь воображаемой поверхности правильной геометрической формы, окружающей источник и проходящей через расчетную точку, м² [2, п.4.2];

$\psi=0,9$ – коэффициент, учитывающий нарушение диффузности звукового поля в помещении [4, п.4.2];

B – постоянная помещения, м² [2, п.4.2].

Постоянная помещения B в октавных полосах частот [2, п.4.3]:

$$B = B_{1000} \cdot \mu, \quad (4)$$

где $B_{1000}=67,2$ м² – постоянная помещения на среднегеометрической частоте 1000 Гц, определяемая в зависимости от объема V в м³ и типа помещения [2, п.4.3];

μ – частотный множитель [2, табл. 4].

Результаты расчета представлены в табл. 4.

Таблица 4.

Параметр	Среднегеометрическая частота октавной полосы f, Гц								Шкала А
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Уровень звуковой мощности, излучаемой при работе одного двигателя газового Г98, дБ	88	91	96	93	90	91	93	85	99
Уровень звуковой мощности, излучаемой при работе четырех двигателей газовых Г98, дБ	94	97	102	99	96	97	99	91	105
Уровень звуковой мощности, излучаемой при работе одного сетевого насоса, дБ	75	84	83	84	87	86	80	73	92
Уровень звуковой мощности, излучаемой при работе подпиточного насоса, дБ	75	84	83	84	87	86	80	73	92
Уровень звуковой мощности, излучаемой при работе обоих насосов, дБ	78	87	86	87	90	89	83	76	95
Суммарные октавные уровни звуковой мощности в помещении теплоэнергоблока, дБ	94,2	97,4	102,2	99,4	97	97,6	99,2	91,2	105,4
Частотный множитель μ	0,5	0,5	0,55	0,7	1,0	1,6	3,0	6,0	—
Постоянная помещения B , м ²	33,6	33,6	37,0	47,0	67,2	107,5	201,6	403,2	—

Окончание табл. 4

Параметр	Среднегеометрическая частота октавной полосы f, Гц								Шкала А
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Октавные уровни шума в помещении теплоэнергоблока	84,6	87,8	92,2	88,4	84,5	83,2	81,7	72,0	92,9

2. Определение звукоизолирующей способности помещения теплоэнергоблока.

Звукоизолирующая способность помещения теплоэнергоблока оценивается по методике, применяемой для многослойных плоских преград со звукопоглотителем без учета косвенных путей распространения шума (по шахтам, трубопроводам, отверстиям, звуковым мостикам и т.д.)

Звукоизоляция преграды [1, с. 132]:

$$R = R_1 + \Delta R, \text{ дБ}, \quad (5)$$

где R_1 – звукоизоляция металлических листов панели;

ΔR – звукоизоляция наполнителя панели.

Звукоизоляция металлических листов панели [1, с.128]:

$$R_1 = 20 \cdot \log m \cdot f - 60, \text{ дБ}, \quad (6)$$

где $m = \rho \cdot s = 7800 \cdot 0,001 = 7,8$ – масса металлических листов панели, отнесенная к их площади, кг/м²;

f – среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц.

Звукоизоляция наполнителя панели [1, с. 132]:

$$\Delta R = 8,7 \cdot \log s \cdot \beta, \text{ дБ}, \quad (7)$$

где $s=80$ – толщина звукопоглощающего материала, мм;

β – коэффициент затухания данного материала, см⁻¹ [1, с. 133, табл. 5.2].

Результаты расчета представлены в табл. 5.

Таблица 5.

Параметр	Среднегеометрическая частота октавной полосы f, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Звукоизоляция металлических листов панели, дБ	0	0	5,8	11,8	17,8	23,9	29,9	35,9
Коэффициент затухания минеральноватных плит, см ⁻¹	0,018	0,061	0,104	0,150	0,180	0,320	0,450	0,470
Звукоизоляция наполнителя панели, дБ	1,4	6,0	8,0	9,4	10,1	12,3	13,5	13,7
Звукоизолирующая способность помещения теплоэнергоблока, дБ	1,4	6,0	13,8	21,2	27,9	36,2	43,4	49,6

3. Определение суммарного уровня шума выхлопа двигателей внутреннего сгорания.

При воздействии на одну и ту же точку в пространстве шумов от нескольких источников результирующее их значение определяется суммированием энергии этих источников. Тогда при одинаковой интенсивности источников уровень звуковой мощности относительно пороговой мощности $N=10-12$ Вт [4, с.53]:

$$L_{\Sigma} = L_1 + 10 \cdot \log n, \quad (8)$$

где $L_I=85$ дБА – уровень звуковой мощности, излучаемый одним двигателем [2, с.13 п.1.3.6];

$n=4$ – количество двигателей.

Суммарный уровень шума выхлопа двигателей внутреннего сгорания:

$$L_{\Sigma} = 85 + 10 \cdot \log 4 = 91,0 \text{ дБА.}$$

4. Определение уровня звуковой мощности, излучаемой стенами теплоэнергоблока.

Звуковое давление, создаваемое стенами теплоэнергоблока может быть приблизительно оценено [3, с. 48]:

$$p = \frac{\rho \cdot F \cdot c}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot m}, \text{ Па,} \quad (9)$$

где $\rho=1,29$ – плотность воздуха, кг/м³;

$F=200$ – сила, воздействующая на стену, Н;

$c=333$ – скорость распространения звука в воздухе, м/с;

f – среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц;

$m=1670$ – масса стены, кг;

Уровень звуковой мощности, излучаемой стенами помещения, относительно порогового давления $p=2 \cdot 10^{-5}$ Па [3, с. 53]:

$$L_{\text{ст}} = 20 \cdot \log \left(\frac{p}{2 \cdot 10^{-5}} \right), \text{ дБ} \quad (10)$$

Результаты расчета представлены в табл. 6.

Таблица 6.

Параметр	Среднегеометрическая частота октавной полосы f , Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Звуковое давление, создаваемое стенами теплоэнергоблока, Па	0,130	0,0655	0,0328	0,0164	0,00819	0,00409	0,00205	0,00102
Уровень звуковой мощности, излучаемой стенами помещения, дБ	76,3	70,3	64,3	58,3	52,2	46,2	40,2	34,2

5. Снижение уровня шума при удалении от помещения теплоэнергоблока.

Октавные уровни звукового давления $L_{\text{уд}}$ в дБ при удалении от помещения теплоэнергоблока определяются по формуле для зоны прямого звука [3, п.4.2]:

$$L_{\text{уд}} = L + 10 \cdot \log \left(\frac{\chi \cdot \Phi}{S} \right) \quad (11)$$

где L – суммарные октавные уровни звуковой мощности вне помещения теплоэнергоблока, дБ;

$\chi=1,0$ – коэффициент, учитывающий влияние ближнего акустического поля [3, п.4.2];

$\Phi=1,0$ – фактор направленности источника шума [3, п.4.2];

$S=4\pi r^2$ – площадь воображаемой поверхности правильной геометрической формы, окружающей источник и проходящей через расчетную точку, м² [3, п.4.2].

Так как распределение шума выхлопа двигателя внутреннего сгорания по октавным полосам заводом-изготовителем не указано, то шум выхлопа учитывался только при оценке уровня звуковой мощности по шкале А.

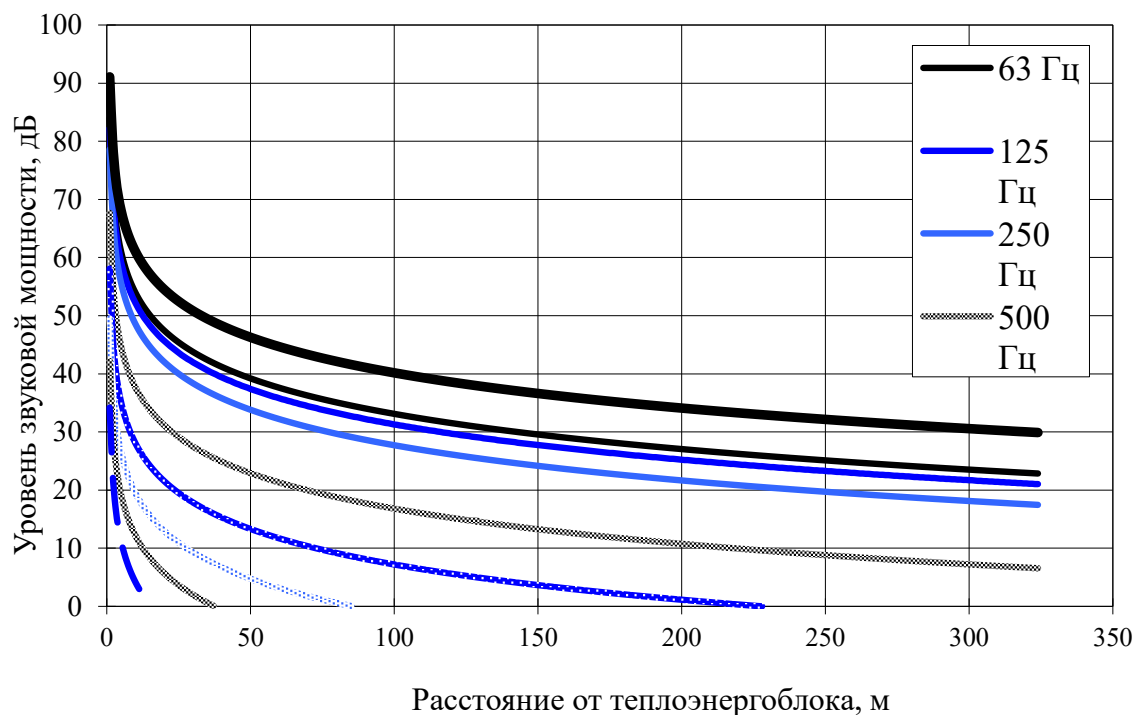


Рис. 2. Падение уровня звуковой мощности при удалении от теплоэнергоблока

6. Определение минимального расстояния от теплоэнергоблока до жилой застройки.

Строительными нормами и правилами определены нормы допустимых уровней шума, указанные в табл. 7 [3, п.3].

Таблица 7.

Помещения и территории	Уровни звукового давления L в дБ октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц								шкала А
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Жилые комнаты квартир, спальные помещения в детских дошкольных учреждениях и школах-интернатах	55	44	35	29	25	22	20	18	30
Территории непосредственно прилегающие к жилым домам (в 2 м от ограждающих конструкций), площадки отдыха микрорайонов и групп жилых домов, площадки детских дошкольных учреждений, участки школ	67	57	49	44	40	37	35	33	45

Согласно проведенному расчету, табл. 7, минимальное расстояние от теплоэнергоблока до жилой застройки по параметрам постоянного шума составляет $r=10$ м.

Согласно проведенному расчету, табл. 7, минимальное расстояние от теплоэнергоблока до жилой застройки по параметрам колеблющегося во времени шума составляет $r=60$ м.

Выводы

В радиусе от 60 и более метров от помещения теплоэнергоблока будут созданы условия, удовлетворяющие требованиям «Строительных норм и правил» к открытым общественным территориям (площадки отдыха микрорайонов, площадки детских дошкольных учреждений, участки школ – уровень шума не более 45 дБ).

В радиусе от 350 и более метров от помещения теплоэнергоблока будут созданы условия, удовлетворяющие требованиям «Строительных норм и правил» к территории жилой застройки (жилые комнаты квартир, жилые помещения домов отдыха и пансионатов, спальные помещения в детских дошкольных учреждениях и школах-интернатах – уровень шума не более 30 дБ).

Распространение шума по косвенным путям (по шахтам, трубопроводам, отверстиям, звуковым мостикам и т.д.) может расширить минимальное расстояние от теплоэнергоблока по параметрам постоянного шума до $r=50$ м, что меньше расстояния, установленного по параметрам колеблющегося во времени шума $r=60$ м.

Проверочный расчет показал полное соответствие акустических характеристик теплоэнергоблока АО «Павловский автобус» требованиям строительных норм и правил, предъявляемым к производственным объектам.

Библиографический список

1. Двигатель газовый Г98 Технические условия ТУ3126-002-05744656-95. – Н. Новгород: РУМО, 1995. - 104 с.
2. Рабочий проект «Охрана окружающей среды для теплоэнергоблока на АО «Павловский автобус». – Н. Новгород: Фирма «СИРИН-НН», 2003. – 75 с.
3. Защита от шума / Строительные нормы и правила СНиП П-12-77. – М.: НИИ строительной физики Госстроя СССР, 1977. – 109 с.
4. Меркулов, В.И. Основы шума и вибрации судовых энергетических установок и механизмов [Текст] / В.И. Меркулов. – Горький: ГПИ, 1988. – 166 с.