

УДК 534.2; 536.4

DOI 10.25587/2222-5404-2024-21-2-71-76

Расчет максимального звукового давления выброса пара из котлоагрегата ТЭЦ

В. Г. Реев^{1,2}✉, У. Д. С. Гунасекара³

¹Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, г. Якутск, Россия

²Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова, г. Якутск, Россия

³Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,

г. Санкт-Петербург, Россия

✉ rvg_1998@mail.ru

Аннотация. В работе рассмотрена проблема шумового воздействия работы ТЭЦ на человека и прилегающие населенные пункты. На энергогенерирующих объектах мощным источником шума является процесс сброса пара из котлоагрегатов. Данный процесс возникает при аварийных ситуациях в целях снижения давления и при растопке. При сбросе из котлоагрегатов через ГПК недорасширенный и неизотермический поток пара с высокой скоростью, давлением и температурой издает шум, равноценный по характеристикам со звуком реактивного двигателя. Для выполнения расчетов произведен запрос данных о параметрах пара перед ГПК со станции Выборгской ТЭЦ-17, входящей в состав энергогенерирующей компании ПАО «ТГК-1» в г. Санкт-Петербурге. Проведен расчет максимального значения звукового давления сброса пара из котлоагрегатов. Определены уровни звукового давления при различных октавных уровнях со среднегеометрическими частотами в диапазоне от 31,5 до 8000 Гц. Построен график зависимости уровня звукового давления от октавного уровня. Выявлено, что шум сброса пара имеет высокочастотный характер, экстремум значения возникает при частоте 1000 Гц и равен 161,3 дБ для котлоагрегатов № 4, 5, 6 и 158,7 дБ для котлоагрегатов № 1, 2, 3. Для сравнения: уровень звукового давления шума реактивного двигателя самолета равен примерно 160 дБ. Для уменьшения вредного воздействия шума на человека и прилегающие населенные территории вблизи станции рекомендуется установка специальных средств гашения – шумоглушители.

Ключевые слова: котлоагрегат, шум, звуковое давление, паровой сброс, ТЭЦ, частота, шумоглушитель, звук, шумовое воздействие, пар, поток.

Для цитирования: Реев В. Г., Гунасекара У. Д. С. Расчет максимального звукового давления выброса пара из котлоагрегата ТЭЦ. *Вестник СВФУ*. 2024, Т. 21, №2. С. 71–76. DOI: 10.25587/2222-5404-2024-21-2-71-76

Calculation of maximum sound pressure of steam emission from a CHP boiler unit

V. G. Reev^{1,2}✉, U. D. S. Gunasekara³

¹M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russia

²V.P. Larionov Institute of the Physical-Technical Problems of the North, Yakutsk, Russia

³Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia

✉ rvg_1998@mail.ru

Abstract. The paper considers the problem of the noise impact of the CHP operation on adjacent settlements and on humans. At power generating facilities, the process of steam discharge from boilers is a powerful source of noise. This process occurs in emergency situations in order to reduce pressure and during kindling. When discharged from boilers through the GPC, an under expanded and non-isothermal steam flow with high speed, pressure and temperature emits a noise equivalent in characteristics to the sound of a jet engine. To perform the calculations, a request was made for data on steam parameters

in front of the GPC from the Vyborgskaya CHP – 17 station, part of the TGC-1 power generating company in St. Petersburg. The calculation of the maximum value of the sound pressure of steam discharge from boilers was carried out. Sound pressure levels have been determined at various octave levels with average geometric frequencies in the range from 31.5 to 8000 Hz. A graph of the dependence of the sound pressure level on the octave level is constructed. It was revealed that the noise of steam discharge has a high-frequency character, the extreme value occurs at a frequency of 1000 Hz and is equal to 161.3 dB for boilers No. 4, 5, 6 and 158.7 dB for boilers No. 1, 2, 3. For comparison, the sound pressure level of the noise of an aircraft jet engine is approximately 160 db. To reduce the harmful effects of noise on humans and adjacent populated areas near the station, it is recommended to install special extinguishing agents – silencers.

Keywords: boiler unit, noise, sound pressure, steam discharge, CHP, frequency, muffler, sound, noise effect, steam, flow.

For citation: Reev VG, Gunasekara UDS. Calculation of maximum sound pressure of steam emission from a CHP boiler unit. *Vestnik of NEFU*. 2024, Vol. 21, No. 2. Pp. 71–76. DOI: 10.25587/2222-5404-2024-21-2-71-76

Введение

В настоящее время одной из актуальных задач теплотехники является снижение негативного воздействия шума на человека и экологию. Согласно федеральному закону «Об охране окружающей среды», крупные промышленные предприятия обязаны предпринимать меры защиты от негативного воздействия шума прилегающие населенные пункты [1].

Шумовое воздействие пагубно влияет на здоровье человека, мало того, имеет свойство с течением времени накапливать вредное воздействие, то есть обладает аккумулятивным эффектом. При длительном воздействии на организм человека шум может спровоцировать возникновение различных болезней и недугов, таких как потеря слуха, функциональные расстройства нервной и сердечно-сосудистой системы, а также психологические отклонения [2]. Также шумовое воздействие может снизить результативность труда человека в 1,5 раза при умственных операциях, а при физических нагрузках почти в 1/3. Таким образом из-за повышенной утомляемости человека при работе под воздействием шума повышаются риски возникновения ошибок и аварий при выполнении производственных работ [3].

В энергетических объектах мощным источником звука является сброс пара из котла в атмосферу при возникновении аварийных ситуаций. Данный процесс сопровождается превышением уровня звука порядка 30–40 дБ в радиусе 2 километров.

Особенностями возникновения громкого шума при сбросе пара является образование недорасширенных, неизотермических потоков пара с высокой скоростью, температурой и давлением [4]. Шум возникает вследствие турбулентных пульсаций давления. Такие сбросы пара характерны для главного предохранительного клапана (ГПК) котла.

Исходя из характеристик, шум сброса пара котла можно отнести к высокочастотному шуму, так как максимум уровня звукового давления достигается именно в высоких частотах в диапазоне от 1000 до 4000 Гц.

На рис. 1 представлены значения уровня звукового давления для различных источников шума в электростанциях в зависимости от частоты. Как видно из рис. 1, звуковое давление выброса пара из котла имеет максимальное значение при частоте 2000 Гц и равняется порядка 162 дБ, что равноценно звуку реактивного двигателя.

В крупных городах тепловые электрические станции находятся вблизи жилых кварталов, в связи с чем вокруг станций наблюдаются превышения значений шума, установленных СП 51.13330.2011 «Защита от шума»¹.

¹ СП 51.13330.2011 «Защита от шума». Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003

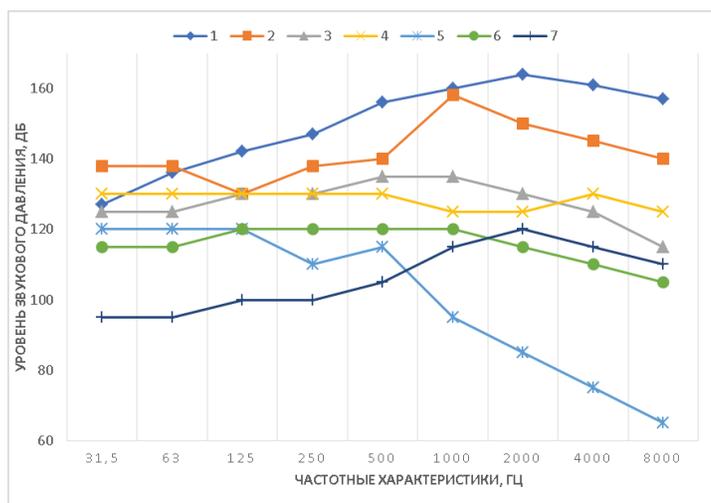


Рис. 1. Значения уровня шума для различных источников электростанции: 1 – выброс пара в атмосферу; 2 – воздухозабор ГТУ без глушителя; устье дымовой трубы (без глушителя) с металлическими стволами от: 3 – осевых дымососов; 4 – ГТУ; 5 – водогрейных котлов; 6 – корпус тягодутьевых машин; 7 – газорегуляторный пункт [5]

Fig. 1. Noise level values for different power plant sources: 1 - steam emission into the atmosphere; 2 - GTU air intake without silencer; chimney mouth (without silencer) with metal shafts from: 3 - axial smoke pumps; 4 - GTU; 5 - hot-water boilers; 6 - housing of draught blowers; 7 - gas regulator station [5]

В связи с этим актуальным является исследование сброса пара из котлов ТЭЦ. Цель работы – расчет максимального значения звукового давления сброса пара из парового котла ТЭЦ.

Методика расчета

Для проведения расчетов был выполнен запрос параметров пара на сбросе перед ГПК со станции Выборгской ТЭЦ-17, входящей в состав энергогенерирующей компании ПАО «ТГК-1» в г. Санкт-Петербурге. Исходные параметры пара представлены в табл. 1.

Таблица 1

Данные параметра пара перед ГПК станции Выборгской ТЭЦ-17 ПАО «ТГК-1»

Table 1

Steam parameter data upstream of GPC at Vyborgskaya CHPP-17 of PJSC TGC-1

		Параметры пара перед ГПК		
		Расход, т/ч	Температура, °С	Давление, МПа
Котлоагрегат № 1	ГПК-1	100	510	11,9
	ГПК-2	100	510	11,9
Котлоагрегат № 2	ГПК-1	100	510	11,9
	ГПК-2	100	510	11,9
Котлоагрегат № 3	ГПК-1	100	510	11,9
	ГПК-2	100	510	11,9
Котлоагрегат № 4	ГПК-1	175	550	17
	ГПК-2	175	550	17
Котлоагрегат № 5	ГПК-1	175	550	17
	ГПК-2	175	550	17
Котлоагрегат № 6	ГПК-1	175	550	17
	ГПК-2	175	550	17

Для проведения расчетов максимального значения звукового давления использовалась методика, взятая из литературы [6], согласно которому:

$$L_{w0} = 87 + 10\log(M) + 20\log(c), \tag{1}$$

где M – расход пара, т/ч; c – скорость звука в среде, м/с.

Далее для определения уровня звукового давления при различных октавных уровнях со среднегеометрическими частотами от 31,5 до 8000 Гц используются вносимые корректирующие поправки, взятые из литературы [7, 8] (табл. 2).

Таблица 2

Корректирующие поправки расчета звукового давления

Table 2

Corrections for sound pressure calculations

Среднегеометрическая полоса частот, Гц	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Уровень звукового давления, дБ	-32	-26	-20	-14	-8	-4,5	-9	-21,5	-39

Результаты расчета

Для определения скорости звука в среде использовался программный пакет WaterSteamPro. Данный программный пакет позволяет вычислить свойства пара в метастабильной области. Для вычислений используется специальная формуляция для метастабильной области, которая основана на формуляции IF-97 [9, 10].

Таким образом, при давлении пара 11,9 МПа и температуре 510 °С скорость звука в среде равняется 648,3 м/с, а при давлении 17 МПа и температуре 550 °С скорость звука равна 659,8 м/с.

Согласно выражению (1), максимальное значение звукового давления сброса пара из ГПК котлов:

для котлоагрегатов № 1, 2, 3 уровень звукового давления равен:

$$L_{w1} = 87 + 10\log(100) + 20\log(648,3) = 163,2 \text{ дБ}; \tag{2}$$

для котлоагрегатов № 4, 5, 6 уровень звукового давления равен:

$$L_{w2} = 87 + 10\log(175) + 20\log(659,8) = 165,8 \text{ дБ}. \tag{3}$$

Уровень звукового давления порядка 160 дБ сопоставим со звуком реактивного самолета. Такие высокие значения звукового давления для человека чреваты потерей слуха и контузией.

Исходя из корректирующих поправок (табл. 2), был проведен расчет октавных уровней звукового давления для всех шести котлоагрегатов. Результаты расчета представлены в табл. 3.

Таблица 3

Октавные уровни звукового давления

Table 3

Octave sound pressure levels

Среднегеометрическая полоса частот, Гц	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Уровень звукового давления котлоагрегата № 1, 2, 3, дБ	131,2	137,2	143,2	149,2	155,2	158,7	154,2	141,7	124,2
Уровень звукового давления котлоагрегата № 4, 5, 6, дБ	133,8	139,8	145,8	151,8	157,8	161,3	156,8	144,3	126,8

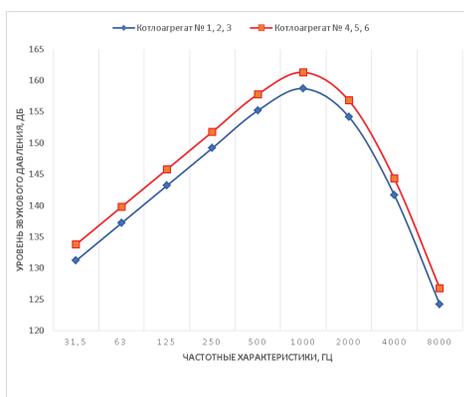


Рис. 2. Значение уровней звукового давления

Fig. 2. Value of sound pressure levels

Как видно из результатов расчета, максимальное значение уровня звукового давления сброса пара из котлоагрегата доходит до 161,3 дБ при значении частоты 1000 Гц для котлоагрегатов № 4, 5, 6 и 158,7 дБ при тех же значениях частоты для котлоагрегатов № 1, 2, 3.

Заключение

В рамках данной работы был проведен расчет максимальных значений звукового давления для шести котлоагрегатов при сбросе пара из ГПК. В следствие выхода из котлоагрегатов недорасширенных, неизотермических потоков пара с высокой скоростью и давлением возникает шум, равноценный по характеристикам с реактивным двигателем самолета.

Также выполнен частотный анализ шума по уровням октав со среднечастотными характеристиками в диапазоне от 31,5 до 8000 Гц. Шум сброса пара из котлоагрегатов имеет высокочастотные характеристики. Максимальное значение уровня звукового давления 161,3 дБ для котлоагрегатов № 4, 5, 6 и 158,7 дБ для котлоагрегатов № 1, 2, 3 возникает при частоте 1000 Гц.

В целях минимизации вредного воздействия шума на человека рекомендуется использование шумоглушителей после ГПК котлоагрегата.

Л и т е р а т у р а

1. Федеральный закон от 10.01.2002 N-7 ФЗ «Об охране окружающей среды». – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823/ (дата обращения: 22.02.2024).

2. Влияние шумов и звуков на человека. – URL: https://bio.spbu.ru/science/scienceinfo/el_resource.php (дата обращения: 21.02.2024).
3. Гакаев, Д. А. Влияние шума и инфразвуков на организм человека / Д. А. Гакаев // Молодой ученый. – 2015. – № 15 (95). – С. 261–264.
4. Чугунков, Д. В. Разработка методов расчета и снижение шума от недорасширенных струй паровых выбросов энергетических комплексов : автореферат дисс. ... к. т. н. / Чугунков Дмитрий Владимирович. – Москва, 2007. – 20 с.
5. Тупов, В. Б. Снижение шума от энергетического оборудования / В. Б. Тупов // Современные природоохранные технологии в электроэнергетике. – 2007. – С. 251–266.
6. Хекла, М. Справочник по технической акустике / М. Хекла, Х. А. Мюллер. – Ленинград : Судостроение, 1980. – 440 с.
7. Лукашук, В. Н. Шум при продувках пароперегревателей на ТЭС / В. Н. Лукашук // Сборник научных трудов №193. – Москва : Издательство МЭИ, 1989. – С. 72–77.
8. Лукашук, В. Н. Шум при продувках пароперегревателей и разработка мероприятий по снижению его влияния на окружающую среду: автореферат дисс. ... к. т. н. / Лукашук Виктор Никифорович. – Москва, 1988. – 19 с.
9. Структура формуляции IF-97. – URL: <http://www.wsp.ru/ru/documentation/wsp/6.5/formulationstruct.htm> (дата обращения: 25.03.2024).
10. Александров, А. А. Система уравнений IAPWS-IF97 для вычисления термодинамических свойств воды и водяного пара в промышленных расчетах. Ч. 1. Основные уравнения / А. А. Александров // Теплоэнергетика. – 1998. – № 9. – С. 69–77.

References

1. Federal Law of 10.01.2002 N-7 FZ 'On Environmental Protection'. - URL:http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823/ (Accessed: 22.02.2024).
2. The impact of noises and sounds on humans. - URL: https://bio.spbu.ru/science/scienceinfo/el_resource.php (Accessed: 21.02.2024).
3. Gakayev DA. Effect of noise and infrasound on the human body. *Molodoy uchenyy*, 2015;15(95):261-264.
4. Chugunkov DV. Development of calculation methods and noise reduction from under-expanded jets of steam emissions of power complexes: 05.14.01: Candidate's dissertation (Technology), Moscow, 2007:20.
5. Tupov VB. Reduction of noise from power equipment. *Sovremennye prirodookhrannye tekhnologii v ehlektroehnergetike*, 2007:251-266.
6. Khekla M. Handbook of Technical Acoustics, Leningrad: Sudostroenie, 1980:440.
7. Lukashchuk VN. Noise during steam superheater blowdowns at TPPs. *Sbornik nauchnykh trudov №193*. Moscow: Izdatelstvo MEI, 1989:72-77.
8. Lukashchuk VN. Noise during steam superheater blowdowns and development of measures to reduce its environmental impact: 05.14.01: candidate's dissertation. Moscow, 1988:19.
9. Struktura Formulyatsii IF-97 [Electronic resource] - URL: <http://www.wsp.ru/ru/documentation/wsp/6.5/formulationstruct.htm> (Accessed: 25.03.2024).
10. Aleksandrov AA. The IAPWS-IF97 system of equations for calculating the thermodynamic properties of water and water vapour in industrial calculations. 1 p. Basic equations. *Teploenergetika*, 1998;9:69–77.

РЕЕВ Василий Георгиевич – аспирант, Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова; ведущий инженер, Институт физико-технических проблем Севера СО РАН, Якутск, Россия.
E-mail: rvg_1998@mail.ru

Vasily G. REEV – Post-Graduate Student, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, leading engineer, Institute of Physical and Technical Problems of the North, Yakutsk, Russia.

ГУНАСЕКАРА Утум Джамаял Сулакна – аспирант, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия.

E-mail: uthumgunasekara@yandex.ru

Uthum Jayamal Sulakna GUNASEKARA – Post-Graduate Student, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia.