

УДК 628.517.2

DOI: 10.24160/1993-6982-2022-5-83-90

Особенности излучения шума от вентиляторных градирен большой мощности

В.Б. Тупов, А.Б. Мухаметов

Проанализированы особенности излучения шума от вентиляторных градирен большой мощности. Рассмотрены сухие градирни с быстроходными вентиляторами FANS, АВГ и мокрые градирни с тихоходными вентиляторами ВГ-104. Для анализа шумового воздействия вентиляторных градирен в программе АРМ «Акустика» разработана модель тепловой электростанции и выполнены акустические расчёты. При проведении акустических расчётов проанализировано изменение мощности электростанции от 116 до 464 МВт. Построены зависимости уровней звука (УЗ) и звукового давления (УЗД) для разных мощностей электростанций при использовании различных типов вентиляторных градирен и изучены особенности шумоизлучения используемых вентиляторов. Получено, что при использовании быстроходных вентиляторов максимальные превышения уровней звука над нормативным значением в зависимости от мощности электростанции составляют 9...20 дБА. При установке тихоходных вентиляторов во всём диапазоне изменения мощности превышения санитарных норм в расчётных точках (РТ) не наблюдаются. Установлено, что вентиляторные градирни с быстроходными вентиляторами более шумные, чем вентиляторы с тихоходными электродвигателями (на 21...27 дБА в зависимости от мощности электростанции и типа используемого быстроходного вентилятора). Рассмотрены вопросы ярусного излучения шума от быстроходных вентиляторов. Построены карты высотой 100 м с изолиниями уровня шума и определены ярусы рассматриваемых градирен с наибольшим вкладом шума в расчётные точки.

Ключевые слова: ярусное излучение шума, вентиляторные градирни.

Для цитирования: Тупов В.Б., Мухаметов А.Б. Особенности излучения шума от вентиляторных градирен большой мощности // Вестник МЭИ. 2022. № 5. С. 83—90. DOI: 10.24160/1993-6982-2022-5-83-90.

Features of Noise Emission from High-Capacity Mechanical-Draft Cooling Towers

V.B. Tupov, A.B. Mukhametov

The article analyzes the features of noise emission from high-capacity mechanical-draft cooling towers. Dry cooling towers equipped high-speed fans of the FANS and AVG types, and wet cooling towers equipped with low-speed fans of the VG-104 type are considered. To analyze the noise impact produced by mechanical-draft cooling towers, a thermal power plant mathematical model was developed in the Acoustics Computerized Workplace computer program, and acoustic calculations were carried out. In performing acoustic calculations, a change in the power plant output from 116 to 464 MW was considered. The sound level (SL) and sound pressure level (SPL) dependences are constructed for different power plant outputs in using various types of mechanical-draft cooling towers, and the noise emission features from the used fans are analyzed. It has been found that in the case of using high-speed fans, the maximum values by which the sound levels exceed their standardized value can make 9–20 dBA depending on the power plant output. In the case of using low-speed fans, no excess of sanitary standards is observed at the design points over the entire power variation range. It has been shown that mechanical-draft cooling towers equipped with high-speed fans are noisier than those equipped with fans driven by low-speed motors (by 21–27 dBA depending on the plant power and type of the high-speed fan used). Matters of tiered noise emission from high-speed fans are considered. Maps with a height of 100 m with noise level isolines have been constructed, and the tiers of the considered cooling towers with the largest contribution of noise to the design points have been determined.

Key words: tiered noise emission, mechanical-draft cooling towers.

For citation: Tupov V.B., Mukhametov A.B. Features of Noise Emission from High-Capacity Mechanical-Draft Cooling Towers. Bulletin of MPEI. 2022;5:83—90. (in Russian). DOI: 10.24160/1993-6982-2022-5-83-90.

Введение

На объектах тепловой энергетики для охлаждения циркуляционной воды используют оборотные системы технического водоснабжения. Различают следующие виды оборотных систем: с прудами-охладителями, градирнями и брызгальными бассейнами [1, 2].

На тепловых электрических станциях (ТЭС) преимущественно устанавливают противоточные градир-

ни с естественной тягой, в которых вода охлаждается за счёт испарения жидкости и отдачи тепла более холодному потоку воздуха [3]. Однако в настоящее время для охлаждения воды, поступающей из конденсаторов паровых турбин, большое распространение получили вентиляторные градирни. В них воздух подается с помощью вентиляторов, обеспечивающих устойчивое охлаждение циркуляционной воды, поскольку температура охлажденной воды регулируется путем измене-

ния числа оборотов или отключения отдельных вентиляторов [4].

По конструктивным особенностям вентиляторные градирни делят на сухие и мокрые. В сухих градирнях циркуляционная вода протекает по трубкам и охлаждается направленным потоком воздуха, создаваемым вентилятором [2]. Использование сухих градирен позволяет исключить потери воды в контуре охлаждения и минимизировать загрязнение системы технологической воды, что повышает эффективность установки и определяет её целесообразность [2]. В мокрых вентиляторных градирнях принцип охлаждения воды аналогичен градирням с естественной тягой, однако применение вентиляторов допускает более высокие тепловые нагрузки и гарантирует высокое охлаждение воды [4].

Следует отметить, что работа вентиляторных градирен связана с повышенным шумоизлучением в окружающий район [5, 6]. Данная тема особенно актуальна для теплоэлектроцентралей (ТЭЦ), расположенных в черте города [7].

Исследованию акустических характеристик градирен посвящено множество работ. Так, в [8, 9] дана зависимость уровня звуковой мощности противоточной градирни с естественной тягой в зависимости от расхода циркуляционной воды. Из последних работ следует отметить [10], где проанализированы шумовые характеристики градирен с естественной тягой, а для его снижения предложено использование глушителей. Определён оптимальный угол их установки, при котором не нарушается производительность градирни при высокой акустической эффективности.

В [11] изучены технические и шумовые характеристики различных градирен. Представлены способы снижения шумового воздействия градирен в самом источнике.

Авторы [12] описали изменение уровня звука «сухих» вентиляторных градирен от мощности тепловых электростанций. Выведена расчётная формула для определения уровня звука на расстоянии 1 м от вентиляторов в зависимости от мощности электростанции.

В статье [13] выполнено сравнение шумовых характеристик противоточных градирен с естественной тягой и вентиляторных. Определено условие по напору осевых машин, при котором вентиляторные градирни излучают большую звуковую энергию, чем градирни с естественной тягой.

Цель настоящей работы — сравнение уровней шума при работе различных типов вентиляторных градирен

(сухих и мокрых) при их одинаковой охлаждающей способности. Построены зависимости уровней звука и звукового давления для разной мощности электростанций при применении различных типов вентиляторных градирен и проанализированы особенности шумоизлучения вентиляторов. Рассмотрены вопросы ярусного излучения шума от вентиляторов. Построены карты с изолиниями уровня шума, установлены ярусы с наибольшим вкладом шума в расчётные точки.

Модель тепловой электрической станции для выполнения акустических расчётов

Для анализа шумового воздействия вентиляторных градирен взяты градирни со следующими типами осевых вентиляторов: быстроходными вентиляторами типа FANS и АВГ и тихоходными типа ВГ-104. При анализе различных вентиляторных градирен учтено, что их охлаждающие способности остаются постоянными. Характеристики вентиляторов представлены в таблице.

Размещение вентиляторов в градирне зависит от их типов. На рисунке 1 продемонстрированы схемы размещения вентиляторов. Принято, что быстроходные вентиляторы типа FANS и АВГ устанавливаются в три яруса на высотах 6, 14 и 23 м (см. рис. 1, а) и присоединяют к электродвигателю (ЭД) при помощи редуктора. Высота градирни — 25 м.

Вентиляторы типа ВГ-104 имеют тихоходный электродвигатель, их размещают в отдельно стоящих сооружениях (см. рис. 1, б). В градирне устанавливаются только один вентилятор. Высота градирни — 22 м.

Для акустических расчётов разработана модель реальной тепловой электростанции. При выполнении расчётов рассматривали изменение мощности станции от 116 до 464 МВт. Следует отметить, что для обеспечения одинаковой охлаждающей способности градирен количество вентиляторов FANS и АВГ при максимальной мощности электростанции (464 МВт) составляет 132 шт., а вентиляторов ВГ-104 — 24 шт. Количество вентиляторов при других мощностях электростанции пересчитано пропорционально изменению мощности ТЭС. Шумовые характеристики источников взяты из каталогов заводов-изготовителей

В качестве примера на рис. 2 приведена разработанная модель ТЭС с градирнями, на которых установлены быстроходные вентиляторы FANS. ТЭС работает на природном газе. При выполнении расчетов здания и сооружения ТЭС учтены в качестве искусственных препятствий распространению шума.

Характеристики вентиляторов

Наименование	Тип рабочего колеса	Диаметр рабочего колеса, мм	Частота вращения, об./мин	Расход воздуха, тыс. м ³ /ч
FANS	WO5940-5-(1HS)	5940	240	950
АВГ	ГАЦ-60-5	6200	190	950
ВГ-104	ОВ-101	10400	92	2700

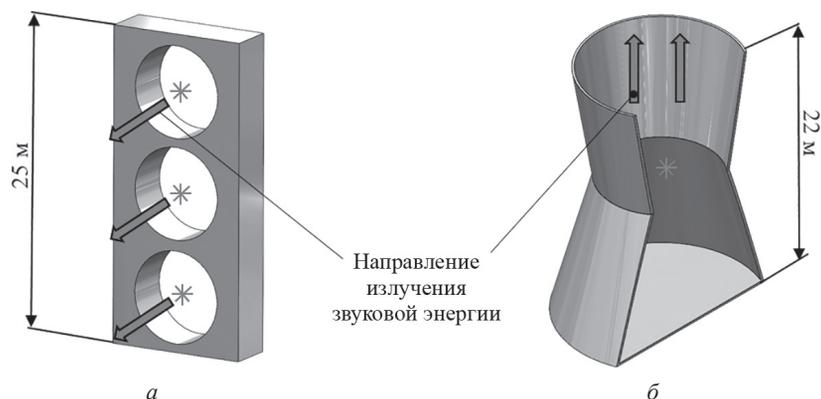


Рис. 1. Схема расположения вентиляторов FANS, АВГ (а) и ВГ-104 (б) в градирнях:
* — место расположения вентилятора (источника шума)

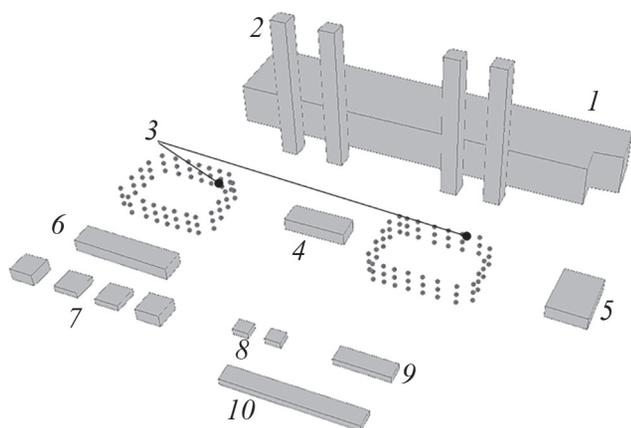


Рис. 2. Модель тепловой электростанции:

1 — главный корпус ТЭС; 2 — дымовые трубы; 3 — сухие вентиляторные градирни; 4 — здание ремонтного блока; 5 — маслонасосная; 6 — склад масла; 7 — баки запаса конденсата; 8 — баки с водой; 9 — здание водоподготовительных установок; 10 — дожимная компрессорная

Акустические расчёты выполнены в программе АРМ «Акустика», позволяющей проводить расчёты согласно [14].

В соответствии с [14] уровень звукового давления от каждого источника в расчётной точке равен:

$$L = L_w + D_c - A,$$

где L_w — октавный уровень звуковой мощности источника шума, дБ; D_c — поправка, учитывающая направленность источника шума, дБ; A — затухание в октавной полосе частот при распространении звука от источника шума до расчётной точки, дБ.

Затухание A (дБ) определим по следующему выражению:

$$A = A_{div} + A_{atm} + A_{gr} + A_{bar} + A_{misc},$$

где A_{div} , A_{atm} , A_{gr} , A_{bar} , A_{misc} — затухания из-за геометрической дивергенции, звукопоглощения атмосферой, влияния земли, экранирования и влияния прочих эффектов, дБ.

Расчётные точки выбраны на границе санитарно-защитной зоны (СЗЗ) по направлениям сторон света. В соответствии с СанПиНом 2.2.1/2.1.1.1200-03 для рассматриваемого энергообъекта размер СЗЗ составляет 300 м [15]. В каждой точке расчёт проведен для четырёх значений высот: 1,5; 10; 15 и 20 м над уровнем земли. Расположение точек показано на рис. 3.

Результаты акустических расчётов

По результатам акустических расчетов установлены уровни звукового давления в расчётных точках в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 31,5...8000 Гц при использовании вентиляторов различного типа. В качестве примера на рис. 4, 5 даны зависимости максимальных УЗД для вентиляторов FANS и ВГ-104 при изменении мощности станции от 116 до 464 МВт. Результаты расчётов сравниваются с предельно допустимыми уровнями звукового давления (ПДУ) для территории жилой застройки для ночного времени суток (с 23 до 7 ч.) [16].

Максимальные превышения УЗД и УЗ вследствие меньшего затухания из-за геометрической дивергенции и звукопоглощения атмосферой наблюдаются в расчётной точке 3 на высоте 20 м. При использовании быстроходных вентиляторов FANS наблюдаются значительные превышения санитарных норм на среднегеометрических частотах 63...2000 Гц. Максимальные превышения для всего диапазона изменения мощности (116...464 МВт) при работе таких вентиляторов наблюдаются на среднегеометрической частоте 250 Гц. К примеру, при мощности станции 464 МВт превышение на данной частоте составляет 19,9 дБ, а при мощности 116 МВт — 14,2 дБ. При установке тихоходных вентиляторов ВГ-104 во всём диапазоне изменения мощности (116...464 МВт) превышения ПДУ в расчётных точках не наблюдаются. Полученные значения согласуются с [17], где более интенсивное излучение шума характеризуется большей частотой вращения, а не диаметром рабочего колеса осевого вентилятора.

На рисунке 6 представлены результаты расчетов изменения уровня звука рассматриваемых вентиляторов

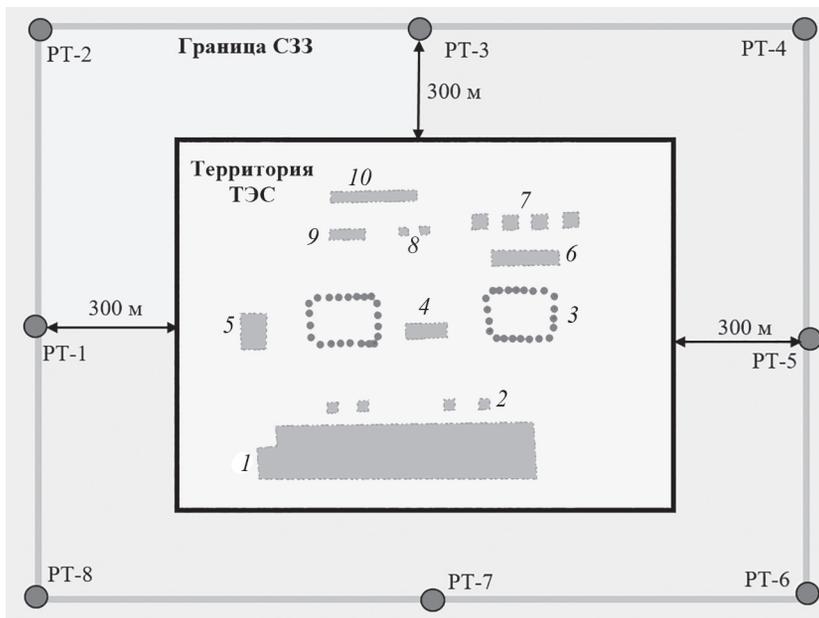


Рис. 3. Расположение расчётных точек:

1 — главный корпус ТЭС; 2 — дымовые трубы; 3 — сухие вентиляторные градирни; 4 — здание ремонтного блока; 5 — маслонасосная; 6 — склад масла; 7 — баки запаса конденсата; 8 — баки с водой; 9 — здание водоподготовительных установок; 10 — дожимная компрессорная

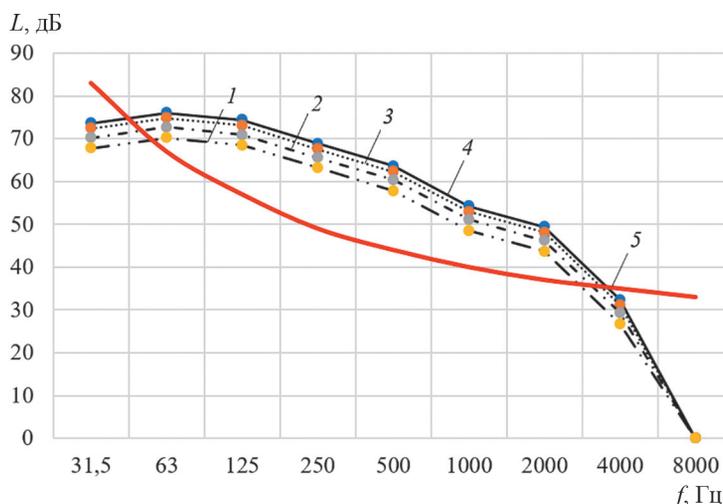


Рис. 4. Значения УЗД в расчётной точке 3 при установке вентиляторов FANS при нагрузках 116 (1), 232 (2), 348 (3), 464 (4) МВт; 5 — предельно допустимый уровень звукового давления

от мощности электростанции. Погрешность расчёта уровней звука и звукового давления по [14] составляет ± 3 дБ (дБА).

Результаты расчёта уровня звукового давления для среднегеометрических частот 31,5...8000 Гц для различной мощности ТЭС (см. рис. 4, 5) показали, что при изменении нагрузки электростанции от 116 до 464 МВт разность УЗД во всём диапазоне среднегеометрических частот 31,5...8000 Гц превышает доверительный интервал погрешности расчёта. Разность расчётных значений УЗ от мощности ТЭС при работе различных вентиляторов (см. рис. 6) аналогично превышает интервал погрешности расчёта. Представлен-

ные данные подтверждают характер полученных кривых и достоверность результатов.

Использование вентиляторов FANS и АВГ даже при мощности ТЭС, равной 116 МВт, приводит к превышению санитарных норм по фактору шума. Шумоизлучение этих вентиляторов связано с аэродинамическими и механическими шумами, образующимися при их работе. Аэродинамические шумы, преобладающие над механическими, вызваны возникновением нестационарных явлений (срывов, вихрей) при обтекании потоком лопаток рабочего колеса и определяются высокой частотой вращения вентилятора [17 — 20]. Составляющими механических шумов являются шумы

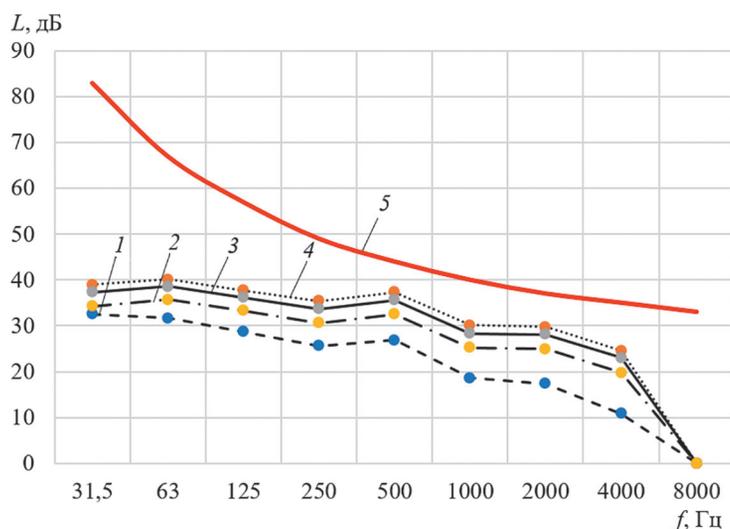


Рис. 5. Значения УЗД в расчётной точке 3 при установке вентиляторов ВГ-104 при нагрузках 116 (1), 232 (2), 348 (3), 464 (4) МВт; 5 — предельно допустимый уровень звукового давления

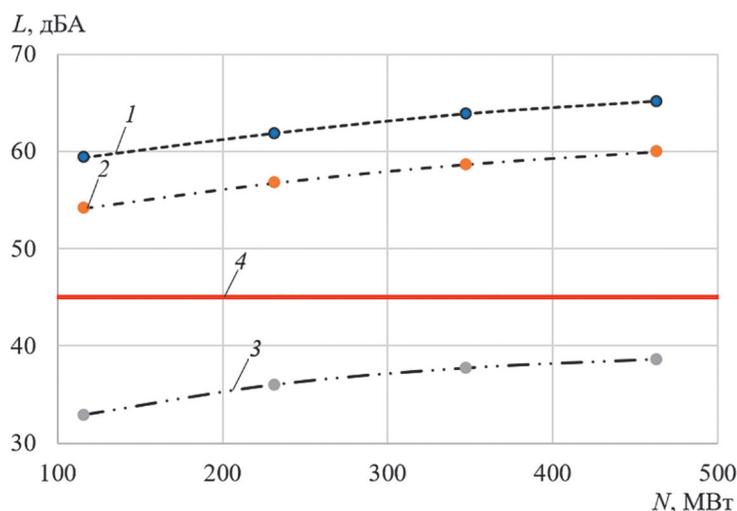


Рис. 6. Уровни звука от мощности электростанции для вентиляторов FANS (1), АВГ (2), ВГ-104 (3) в точке 3; 4 — предельно допустимый уровень звукового давления

передачи (вследствие наличия редуктора), соединительных муфт и подшипников [17, 19 — 20].

Установка вентиляторов ВГ-104 с тихоходным электродвигателем не ведет к превышению санитарных норм в расчётных точках во всём диапазоне изменения мощности электростанции (116..464 МВт) вследствие меньшей частоты вращения (уменьшения аэродинамических шумов) и отсутствия редуктора (снижения составляющих механических шумов) [17, 19—20]. Использование таких вентиляторов можно рассматривать как один из вариантов снижения шума.

Следует учитывать, что вентиляторы ВГ-104 имеют высокие массогабаритные данные, что существенно повышает затраты на такие машины. Суммарная масса вентиляторов ВГ-104 для рассматриваемого энергообъекта составляет 132 т. Также при эксплуатации таких машин возникает необходимость строительства отдельного сооружения для них. Для сравнения сум-

марная масса вентиляторов типа FANS — 42 т, что примерно в 3 раза меньше, чем у ВГ-104. Целесообразность использования вентиляторов с тихоходным электродвигателем в каждом случае должна подтверждаться технико-экономическим обоснованием [2 — 4].

Влияние поярусного излучения шума от вентиляторов и расположения зданий по отношению к источнику шума

Для изучения особенностей излучения шума вентиляторных градирен проанализировано влияние поярусного излучения шума вентиляторов FANS на превышение санитарных норм в расчётных точках. Для этого рассмотрена раздельная работа ярусов вентиляторов при максимальной мощности электростанции 464 МВт. В результате выполненных расчётов построена вертикальная карта высотой 100 м перед расчётной точкой 3 и показано распределение УЗ по длине карты

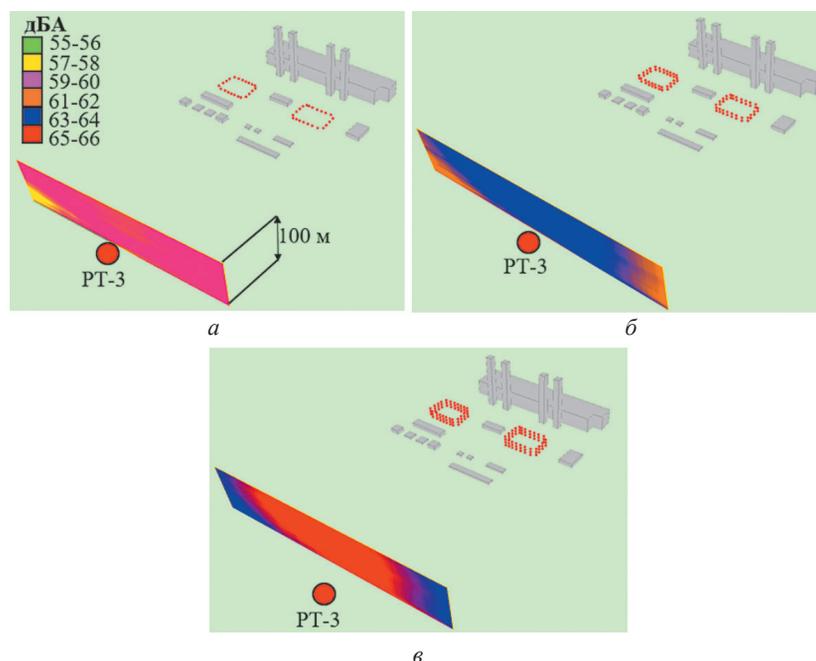


Рис. 7. Уровни звука по длине вертикальной карты при раздельном функционировании ярусов вентиляторов:
а — работа 1-го яруса; *б* — работа 1-го и 2-го ярусов; *в* — работа 1-го, 2-го и 3 ярусов

при работе только 1-го яруса вентиляторов, при совместной работе 1-го и 2-го ярусов и 1 — 3-го ярусов. Результаты выполненных расчётов представлены на рис. 7.

Установлено, что при работе только 1-го яруса УЗ по длине и высоте карты меняется от 55 до 61 дБА. При совместной работе 1-го и 2-го яруса диапазон изменений УЗ составляет 60...63 дБА, а при работе всех ярусов — 64...66 дБА. Расчётные данные показали, что при включении в работу 2-го и 3-го ярусов вентиляторов, расположенных на более высоких отметках, средний прирост УЗ составляет 4...8 дБА по отношению к УЗ при работе 1-го яруса. Это объясняется отсутствием препятствий распространению шума. Полученные значения подтверждают высокое влияние высотных источников шума (2-го и 3-го ярусов) на превышение УЗ в расчётных точках, что необходимо учитывать при принятии мер по снижению шума вентиляторов. Разность значений УЗ по длине и высоте карты согласуется с погрешностью расчёта [14].

Полученные результаты позволяют, с учетом влияния региональных факторов [21], правильно определить требуемое снижение шума от градирен и разра-

ботать соответствующие мероприятия по снижению шума [7 — 9].

Выводы

Вентиляторные градирни могут быть источником превышения санитарных норм по шуму в окружающем районе, причём на величину превышения влияет тип используемого вентилятора.

Вентиляторные градирни с быстроходными вентиляторами — более шумные, чем вентиляторы с тихоходными электродвигателями (на 21...27 дБА в зависимости от мощности электростанции и типа используемого быстроходного вентилятора).

Использование малощумных вентиляторов с тихоходными электродвигателями вместо быстроходных обосновывается технико-экономическими расчетами с учетом их массогабаритных характеристик и затрат на сооружение градирни.

Уровень шума в расчётных точках зависит от яруса расположения вентиляторов в градирнях и растёт при включении в работу 2-го и 3-го ярусов вентиляторов, расположенных на более высоких отметках, на 4...8 дБА по отношению к уровню звука при работе вентиляторов на высоте 1-го яруса.

Литература

1. Лавыгин В.М., Седлов А.С., Цанев С.В. Тепловые электрические станции. М.: Издат. дом МЭИ, 2009.
2. Пономаренко В.С., Арефьев Ю.И. Градирни промышленных и энергетических предприятий. М.: Энергоатомиздат, 1998.

References

1. Lavygin V.M., Sedlov A.S., Tsanev S.V. Teplovye Elektricheskie Stantsii. M.: Izdat. Dom MEI, 2009. (in Russian).
2. Ponomarenko V.C., Aref'ev Yu.I. Gradirni Promyshlennykh i Energeticheskikh Predpriyatii. M.: Energoatomizdat, 1998. (in Russian).

3. **Рыжкин В.Я.** Тепловые электрические станции. М.-Л.: Энергия, 1967.
4. **Гладков В. А., Арефьев Ю. И., Пономаренко В.С.** Вентиляторные градирни. М.: Стройиздат, 1976.
5. **Márkus M., Muntag A.** Noise Control of Large Wet Cooling Towers. Euronoise, 2018.
6. **Li Y.N.** Noise Reduction Design for Natural Draft Cooling Tower of Fossil Fuel Power Plant // Noise and Vibration Control. 2018. V. 28(3). Pp. 104—106.
7. **Тупов В.Б.** Факторы физического воздействия ТЭС на окружающую среду. М.: Изд-во МЭИ, 2012.
8. **Справочник по технической акустике / под ред. М.Хекла, Х.А. Мюллера.** Л.: Судостроение, 1980.
9. **Григорьян Ф.Е., Перцовский Е.А.** Расчет и проектирование глушителей шума энергоустановок. Л.: Энергия, 1980.
10. **Li X., Sun F., Chen X., Liu C.** Impact Mechanism of the Chip Muffler Layout Patterns on the Cooling Performance of Wet Cooling Towers (2019) // Appl. Thermal Eng. 2019. V. 161. P. 114058.
11. **Hensley J.C.** Cooling Tower Fundamentals. Overland Park: SPX Cooling Technol. Inc., 2009.
12. **Тупов В.Б., Мухаметов А.Б.** Зависимость уровня шума сухих вентиляторных градирен от мощности тепловых электрических станций // Наука. Исследования. Практика: Сб. статей Междунар. науч. конф. СПб.: ГНИИ «Нацразвитие», 2021.
13. **Tupov V.B., Taratorin A.A., Mukhametov A.B.** Comparing the Noise Characteristics of Different Types of Cooling Towers // Akustika. 2021. V. 39. Pp. 42—45.
14. **ГОСТ 31295.2—2005 (ИСО 9613-2:1996).** Шум. Затухание звука при распространении на местности. Ч. 2. Общий метод расчета.
15. **СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200—03.** Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов.
16. **СанПиН 1.2.3685—21.** Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания.
17. **Юдин Е.Я.** Борьба с шумом на производстве. М.: Машиностроение, 1985.
18. **Баженова Л.А.** Источники шума аэродинамического происхождения в воздуходушных машинах // Акустический журнал. 2018. Т. 64. № 3. С. 369—378.
19. **Хорошев Г.А., Петров Ю.И., Егоров Н.Ф.** Борьба с шумом вентиляторов. М.: Энергоиздат, 1981.
20. **Тупов В.Б., Тараторин А.А., Скворцов В.С.** Влияние региональных климатических факторов на снижение уровня шума от энергетического оборудования // Теплоэнергетика. 2018. № 11. С. 72—77.
21. **Иванов Н.И.** Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом. М.: Логос, 2010.
3. **Ryzhkin V.Ya.** Teplovye Elektricheskie Stantsii. M.-L.: Energiya, 1967. (in Russian).
4. **Gladkov V. A., Aref'ev Yu. I., Ponomarenko V.C.** Ventilyatornye Gradirni. M.: Stroyizdat, 1976. (in Russian).
5. **Márkus M., Muntag A.** Noise Control of Large Wet Cooling Towers. Euronoise, 2018.
6. **Li Y.N.** Noise Reduction Design for Natural Draft Cooling Tower of Fossil Fuel Power Plant. Noise and Vibration Control. 2018;28(3):104—106.
7. **Tupov V.B.** Faktory Fizicheskogo Vozdeystviya TES na Okruzhayushchuyu Sredu. M.: Izd-vo MEI, 2012. (in Russian).
8. **Spravochnik po Tekhnicheskoy Akustike.** Pod Red. M. Khekla, Kh.A. Myullera. L.: Sudostroenie, 1980. (in Russian).
9. **Grigor'yan F.E., Pertsovskiy E.A.** Raschet i Proektirovanie Glushiteley Shuma Energoustanovok. L.: Energiya, 1980. (in Russian).
10. **Li X., Sun F., Chen X., Liu C.** Impact Mechanism of the Chip Muffler Layout Patterns on the Cooling Performance of Wet Cooling Towers (2019). Appl. Thermal Eng. 2019;161:114058.
11. **Hensley J.C.** Cooling Tower Fundamentals. Overland Park: SPX Cooling Technol. Inc., 2009.
12. **Tupov V.B., Mukhametov A.B.** Zavisimost' Urovnya Shuma Sukhikh Ventilyatornykh Gradiren ot Moshchnosti Teplovykh Elektricheskikh Stantsiy. Nauka. Issledovaniya. Praktika: Sb. Statey Mezhdunar. Nauch. Konf. SPb.: GNII «Natsrazvitie», 2021. (in Russian).
13. **Tupov V.B., Taratorin A.A., Mukhametov A.B.** Comparing the Noise Characteristics of Different Types of Cooling Towers. Akustika. 2021;39:42—45.
14. **GOST 31295.2—2005 (ISO 9613-2:1996).** Shum. Zatumkhanie Zvuka pri Rasprostranении na Mestnosti. Ch. 2. Obshchiy Metod Rascheta. (in Russian).
15. **SanPiN 2.2.1/2.1.1.1200—03.** Sanitarno-zashchitnye Zony i Sanitarnaya Klassifikatsiya Predpriyatiy, Sooruzheniy i Inykh Ob'ektov. (in Russian).
16. **SanPiN 1.2.3685—21.** Gigienicheskie Normativy i Trebovaniya k Obespecheniyu Bezopasnosti i (ili) Bezvrednosti dlya Cheloveka Faktorov Sredy Obitaniya. (in Russian).
17. **Yudin E.Ya.** Bor'ba s Shumom na Proizvodstve. M.: Mashinostroenie, 1985. (in Russian).
18. **Bazhenova L.A.** Istochniki Shuma Aerodinamicheskogo Proiskhozheniya v Vozdukhoduvnykh Mashinakh. Akusticheskiy Zhurnal. 2018;64;3:369—378. (in Russian).
19. **Khoroshev G.A., Petrov Yu.I., Egorov N.F.** Bor'ba s Shumom Ventilyatorov. M.: Energoizdat, 1981. (in Russian).
20. **Tupov V.B., Taratorin A.A., Skvortsov V.S.** Vliyaniye Regional'nykh Klimaticheskikh Faktorov na Snizheniye Urovnya Shuma ot Energeticheskogo Oborudovaniya. Teploenergetika. 2018;11:72—77. (in Russian).
21. **Ivanov N.I.** Inzhenernaya Akustika. Teoriya i Praktika Bor'by s Shumom. M.: Logos, 2010. (in Russian).

Сведения об авторах:

Тупов Владимир Борисович — доктор технических наук, профессор кафедры тепловых электрических станций НИУ «МЭИ», e-mail: TupovVB@mpei.ru

Мухаметов Айнур Булатович — аспирант кафедры тепловых электрических станций НИУ «МЭИ», e-mail: MukhametovAB@mpei.ru

Information about authors:

Tupov Vladimir B. — Dr.Sci. (Techn.), Professor of Thermal Power Plants Dept., NRU MPEI, e-mail: TupovVB@mpei.ru

Mukhametov Ainur B. — Ph.D.-student of Thermal Power Plants Dept., NRU MPEI, e-mail: MukhametovAB@mpei.ru

Статья публикуется в авторской редакции

The article is published in the author's edition

Статья поступила в редакцию: 19.04.2022

The article received to the editor: 19.04.2022