

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Мониторинг и прогнозирование опасных метеорологических явлений в процессе. Общие требования = Бяспека ў надзвычайных сітуацыях. Маніторынг і прагназіраванне небяспечных метэаралагічных з'яваў і працэсаў. Агульныя патрабаванні ; СТБ 1406–2003 (ГОСТ Р 22.1.07–99, MOD). – Введ. 01.01.04. – Минск: Госстандарт; Беларус. гос. инт-стадартизации и сертификации, 2003. – 19 с.
2. Технический обзор особо опасных гидрометеорологических явлений, наблюдавшихся на территории Белоруссии в 1984 году / Гос. комитет СССР по гидрометеорол. и контролю природной среды. Бел. республ. управ. по гидромет. и контролю природной среды. Гидрометеорол. центр; отв. ред. В.А. Аввакумов.– Минск, 1985. – 38 с.
3. Метеорологический ежемесячник / Мин-во природ. ресурсов и охраны окруж. среды Респ. Бел. Республ. гидрометеорол. центр. Климатич. Кадастр Респ. Бел. – Ч. 2, № 1–13. – Минск. – 1975–2008.
4. Стихийные гидрометеорологические явления на территории Беларуси: справочник / Мин-во природ. ресурс. и охр. окруж. среды Респ. Беларусь; под общ. ред. М.А. Гольберга – Минск: Бел. науч.-исслед. центр Экология, 2002. – 132 с.
5. Бугаева, И.В. Стратосферные потепления и особенности зимних процессов 1987/88 и 1988/89 г. / И.В. Бугаева, Д.А. Тарасенко, А.И. Будыко // Метеорология и гидрология. – 1990. – № 7. – С. 28–35.
6. Обзор стихийных гидрометеорологических явлений и климатических особенностей Республики Беларусь в 2007 году / Гос. климат. кадастр. – Минск: Мин. прир. ресурс. и охраны окруж. среды Респ. Беларусь, Департам. по гидрометеорологии, Гос. учрежд. «Республ. гидрометеорол. центр»; ред. Д.А. Рябов. – Минск, 2008. – 55 с.
7. Шпока, Д.А. Особенности распространения гололеда / Д.А. Шпока // Природопользование: состояние и перспективы развития: матер. науч. конф. молодых ученых (Минск, 26–27 марта 2014 г.) / редкол.: А.К. Карабанов (отв. ред.) [и др.]. – Минск: СтройМедиаПроект, 2014. – С. 128–131.

Материал поступил в редакцию 26.05.15

VOLCHAK A.A., SHPOKA I.N., SHPOKA D.A. Spatial and temporal features of occurrence of ice phenomena on the territory of Belarus

The paper discusses the change in the number of days with ice phenomena on the territory of Belarus and peculiarities of their formation in the period from 1975 to 2012 for 47 stations. The analysis of spatial-temporal variability of the number of days with ice phenomena, areas of ice activity, estimate the impact of different landscapes on the distribution of ice on the territory of Belarus

УДК 534 - 6

Сокол Г.И., Кириченко С.Ю.

ИНФРАЗВУКОВЫЕ ПОЛЯ В ВЕТРОЭНЕРГЕТИКЕ В РАКУРСЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ

Введение. Использование возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в экономике развитых стран обусловлено не только ограниченными запасами полезных ископаемых, но и требованиями уменьшения выбросов в атмосферу парниковых газов. Энергетика на основе ВИЭ является одной из наиболее перспективных отраслей мировой энергетики. Использование ВИЭ не сопровождается эмиссией углекислого газа CO₂, что позволяет понизить масштабы выбросов этого газа. Таким образом, использование ВИЭ в качестве первичных энергоисточников дополнительно не нагружает тепловой баланс планеты. Однако при разработке ветроэнергетических установок (ВЭУ) должна решаться проблема обеспечения низких уровней интенсивности шумов и обеспечение защиты окружающей среды от шумового загрязнения

К настоящему времени в довольно большом объеме проведены научные исследования по негативному влиянию низкочастотных и инфразвуковых колебаний на живые организмы [1–10]. Это направляет усилия ученых и проектантов на изучение инфразвуковых акустических полей.

Постановка проблемы. В разработке альтернативных источников энергии важное место занимает ветроэнергетика. Большое распространение в мире получили двух- и трехлопастные горизонтально-осевые (ГО) ветроэнергетические установки пропеллерного типа, а также роторы Дарье и Савониуса вертикально-осевого (ВО) типа. При проектировании ветроустановок в первую очередь надо определиться с источниками акустического излучения, разработать теоретические основы процесса генерирования звука, разработать расчетные модели характеристик акустических полей. Необходимо исключить вредное влияние шумов на людей на прилегающих к ВЭУ территориях и в жилых постройках, а также живых обитателей природы.

В таком ракурсе актуальность проблемы снижения шумов от ВЭУ не вызывает сомнений. Для разработки мероприятий, направ-

ленных на снижение уровня звукового давления (УЗД) шума до требуемого по санитарным нормам необходимо провести анализ излучения шума от ВЭУ.

Цель работы. Целью настоящей работы является изучение воздействия инфразвуковых волн (ИЗВ) от ВЭУ на живые организмы, распространения низкочастотных акустических колебаний, составление методик расчета характеристик инфразвуковых акустических полей, генерируемых при работе ВЭУ.

1. Общая часть

1.1. Источники инфразвуковых колебаний и воздействие инфразвуковых полей на живые организмы

Условия, при которых генерирование инфразвуковых волн (ИЗВ) происходит стихийно в природе, промышленности и на транспорте рассмотрены в [1, 2–5, 7–9]. Источники инфразвука (ИЗ) привлекли к себе пристальное внимание, так как УЗД в таких случаях бывает довольно высок. Классификации источников ИЗ приведены у Э.Н. Малышева [2], Л. Пимонова (Франция) [5], А.В. Римского-Корсакова [11], В.Н. Бринзы и его соавторов [9], Г.И. Сокол [1].

Исследования показывают [1, 2, 5], что в промышленности и на транспорте машины и механизмы, имеющие поверхности больших размеров, которые совершают колебания с частотой 1–20 Гц, являются источниками ИЗ.

Обычно [1] за характеристику, по которой производят оценку действия акустических колебаний на живые организмы, принимают величину звукового давления или уровень звукового давления, выраженный в децибелах (дБ). Нормы безопасности устанавливают следующие – предельно допустимые уровни звукового давления: 110 дБ Лин (с включенной коррекцией «линейно» шумомера) [1, 9] по общему уровню, 105 дБ в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 2, 4, 8, 16 Гц и 102 дБ в октавной полосе со средне-

Сокол Галина Ивановна, д.т.н., профессор кафедры механотроники Днепрпетровского национального университета имени Олеся Гончара.
Кириченко Сергей Юрьевич, инженер института энергетики Днепрпетровского национального университета имени Олеся Гончара.
Украина, 49010, Днепрпетровск, просп. Юрия Гагарина, 72.

геометрической частотой 31,5 Гц. Согласно разработанным нормам при уровне звукового давления 100 дБ и выше следует ограничивать время пребывания людей в зоне распространения ИЗВ. На рисунке 1 приведен график, на котором указаны уровни болевого порога и слухового восприятия [7].

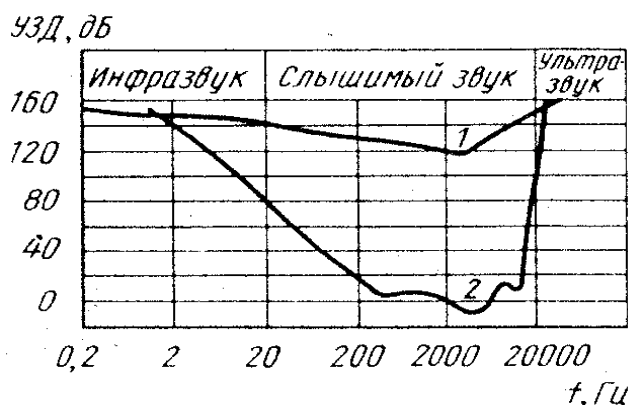


Рис. 1. График кривых слухового восприятия звуков: 1 – болевой порог, 2 – порог слухового восприятия

Рассмотрим особенности распространения низкочастотных волн в воздушной и в водной среде.

1.2. Особенности распространения инфразвуковых волн

Адиабатический характер распространения ИЗВ в воздушной среде доказан в диссертации Э.Н. Малышева [2]. При малых амплитудах распространение ИЗВ рассматривается в линейном приближении. Л. Пимонов [5] приводит математические выражения для расчетов перемещения, колебательной скорости и ускорения только для случая, когда фронт инфразвуковой волны плоский. В [5] приведены графики с расчетными значениями скорости звука в различных средах, зависимость длины волны от частоты, соотношения между значениями величины звукового давления в микробарах и значениями уровней звукового давления (УЗД) в децибелах.

Затухание инфразвука (ИЗ) в атмосфере мало, что объясняется пропорциональностью коэффициента затухания квадрату частоты. Иногда ИЗ называют «акустическим нейтрино». Поглощение энергии ИЗВ частотой 0,1 Гц в нижних слоях атмосферы составляет $2 \cdot 10^{-9}$ дБ/км [5].

Однако в [5] на приведены математические выражения для определения УЗД для случая распространения в среде волны с более сложной формой фронта и большой амплитудой звукового давления. Тогда распространение ИЗВ необходимо рассматривать в нелинейной постановке. Нелинейные ИЗВ при наличии ветра в атмосфере описали Д.И. Блохинцев, D.I. Benney, K. Davis [см. 1].

1.3. Излучатели инфразвука в ветроэнергетике

При периодическом воздействии на среду вращающихся лопастей генерируется звуковое поле [12]. В настоящее время круговая частота вращения трехлопастных роторов ГО ВЭУ-250С и ВЭУ-500С, разработанных в Украине ГKB «Южное», составляет 47,6 об/мин. Их трехлопастные роторы генерируют в окружающую среду инфразвук с частотой 2,4 Гц. Вид ГО ВЭУ приведен на рисунке 2.

Круговая частота вращения двухлопастных роторов ВО ВЭУ-0020 и ВЭУ-0030, разработанных Международной научно-промышленной корпорацией "ВЕСТА", составляет 28–90 об/мин. Их двухлопастные роторы генерируют в окружающую среду инфразвук с частотой 2–7 Гц [13].

Таким образом, ветроэнергетические установки являются типичными излучателями инфразвука.

Из существующих типов роторов Савониуса наиболее распространенными являются замкнутые и щелевые (рис. 3) с двумя и тремя лопастями.



Рис. 2. Горизонтально-осевая ветроустановка

Роторы Савониуса состоят из двух или трех полуцилиндров. Разница в сопротивлении потоку ветра полуцилиндров создает крутящий момент. И хотя они недорогие и просты в изготовлении по сравнению с другими типами турбин, тем не менее, они имеют серьезные недостатки.

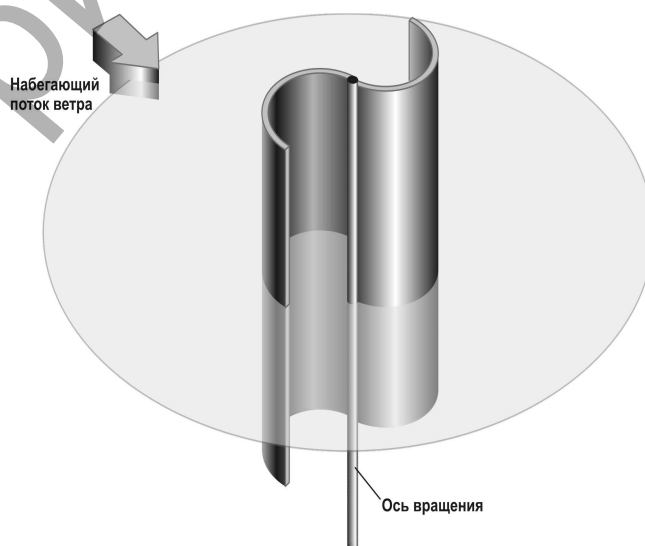


Рис. 3. Схема ротора Савониуса

Ротор Дарье является одним из эффективных устройств по преобразованию энергии ветра в другие виды энергии (электрическую, механическую). Роторы Дарье имеют прямые лопасти (gigomill – рис. 4), установленные на радиальных плечах с фиксированным углом установки. Вырабатываемая им мощность генерируется за счет действия подъемной силы на лопасти.

В работе [12] моделирование инфразвукового акустического поля ветроколеса ветроагрегатов производится аналитическим методом.

Проведены расчёты частотной характеристики шумов, величин звукового давления и акустической мощности для случая, когда к лопасти на определённом расстоянии от ее корневого сечения приложена сосредоточенная аэродинамическая сила. Учтен момент вращения. Расчёты проводились для пяти первых гармоник в математическом редакторе MathCAD, для чего были составлены алго-

ритм и программа. В применении в к ветроагрегатам, разработанным ГКБ «Южное» (Украина), получено, что все пять гармоник относятся к инфразвуковому диапазону частот. Результаты расчётов представлены графически. Построены характеристики направленности акустического поля ветроколеса для первых пяти гармоник.

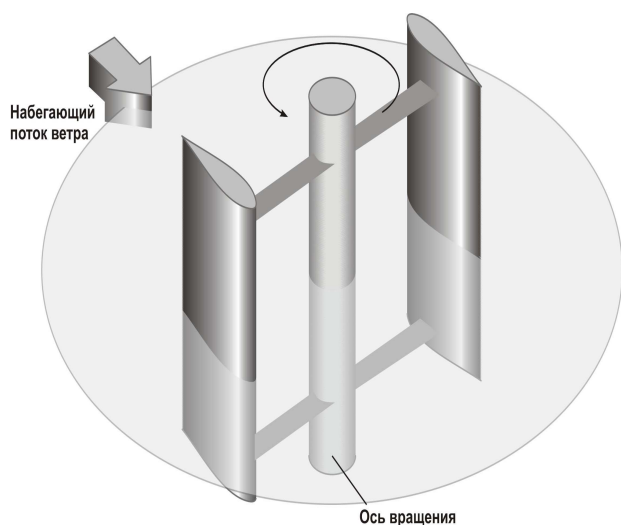


Рис. 4. Схема ротора Дарье

Результаты расчётов, представленные графически, изображают зависимость звукового давления на расстоянии от ветроагрегата от 0 до 300 метров при электрической мощности ветроагрегата 250 кВт, при максимальной скорости ветра 10 м/с (см. рис. 5). Здесь представлены характеристики направленности первых инфразвуковых гармоник шума от ветроколеса.

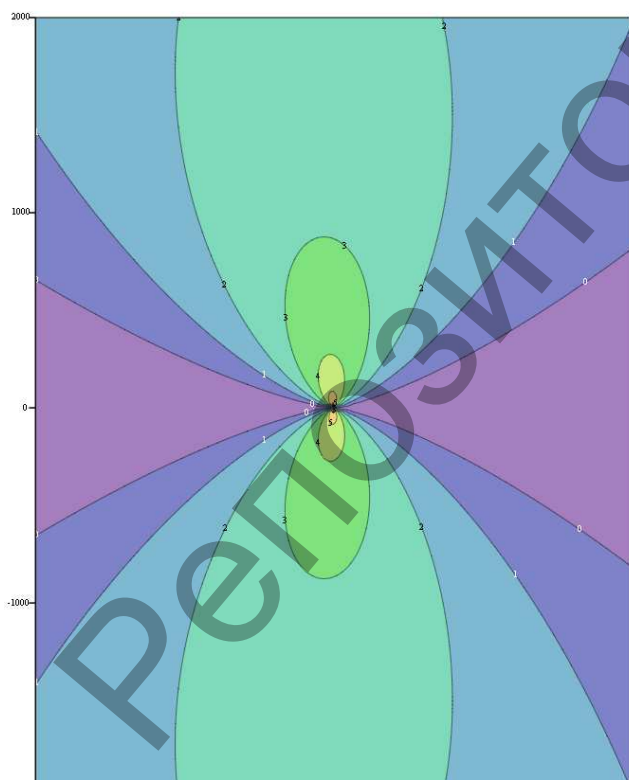


Рис. 5. Характеристики направленности первых инфразвуковых гармоник акустического поля ветроколеса

Из данных расчетов видно, что уровень звукового давления очень низкий. На расстоянии 300м от ветроагрегата ВЭУ - 250С он составляет менее 80 дБ. Эта цифра отвечает санитарным нормам, принятым в Украине. В Европе в настоящее время принят допустимый уровень шумов от ветроагрегатов 40–45 дБ.

Заключение

1. Представлены известные источники инфразвука в природе и в промышленности и нормы их воздействия на живые организмы.
2. В ракурсе влияния на окружающую среду рассмотрены физические основы генерирования акустических полей при работе ветроэнергетических установок. Получены аналитические выражения, позволяющие проанализировать характеристики полей. Разработана методика расчета для определения частот, звуковых давлений и характеристик направленности. Видно, что уровень звукового давления очень низкий. На расстоянии 300м от ветроагрегата ВЭУ - 250С он составляет менее 80 дБ.
3. Разработанная методика позволяет проводить точные расчёты при минимальных затратах машинного времени. Она может быть использована в проектных работах в ветроэнергетике.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Сокол, Г.И. Особенности инфразвуковых процессов в инфразвуковом диапазоне частот [Текст] / Г.И. Сокол. – Днепропетровск: Промінь, 2000. – 136 с.
2. Малышев, Э.Н. Исследование инфразвука как вредного фактора и пути снижения его интенсивности на предприятиях железнодорожного транспорта: дисс... [Текст]. – Л., 1972. – 176 с.
3. Gavreu, V. Infra-sons: generated, detecteurs, proprietes physiques, effects biologiques // 5 Congress Internationale of Acoustics. – 1965. – N1. – P. 1–4.
4. Contple renolu du Colloque international sur les infra-sons (24–27 sept. 1973) (Colloq. Int CNRS, N232). [Текст – Paris: CNRS, 1974. – 435 p. ill.
5. Pinopolov, L. Les infra - sons. [Текст]. – Paris: CNRS, 1976. – 277 p.
6. Карпова, Н.И. Низкочастотные акустические колебания на производстве. [Текст] / Н.И. Карпова, Э.Н. Малышев. – М.: Медицина, 1980. – 160 с.
7. Исакович, М.А. Инфразвук. Обзор литературы за период 1968–1977 гг. [Текст]. / М.А. Исакович, Н. Шмакова // Ред. М.А. Исаковича. – М.: ЦНИИ «Румб», 1978. – 93 с.
8. Инфразвук [Текст] / Библиографический указатель отечественной и зарубежной литературы за 1978–1983 гг. – М.: Акустический ин-т им. акад. Н.Н. Андреева, 1985. – 12 с.
9. Бринза В.Н. Защита от инфразвука на предприятиях черной металлургии / В.Н. Бринза, М.Н. Подлевских, Т.М. Слободяни. – М.: Металлургия, 1992. – 65 с.
10. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку ДСН 3.36.037-99. [Текст]. – Київ: Міністерство охорони здоров'я України, Головне санітарно-епідеміологічне управління, 1999. – 9 с.
11. Римский-Корсаков, А.В. Акустические подводные низкочастотные излучатели. [Текст]. / А.В. Римский-Корсаков, В.С. Ямщиков, В.И. Жулин, В.И. Рехтман – Л.: Судостроение, 1984. – 184 с.
12. Сокол, Г.И. Методики расчета характеристик акустических полей ветроэнергетических установок. Инфразвук в ветроэнергетике // Акустичний вісник. – 2011. – Т. 14. – №3. – С. 60–70.
13. Приходько, А.А. Генерирование инфразвуковых волн вертикально-осевыми ветроагрегатами в атмосфере Земли / А.А. Приходько, Г.И. Сокол, Д.А. Редчиц, Ю.А. Пахомова, О.А. Назаренко / Вестник Днепропетровского национального университета. Серия «Ракетно-космическая техника». – 2007. – № 9/2. – С. 226–230.

Матеріал поступил в редакцию 23.05.15

SOKOL G.I., KIRICHENKO S.Yu. Infrasonic fields in wind power in a foreshortening of an ecological situation

From the foreshortening of influence on the environment the physic basis of the acoustic fields generating by the work of wind energy devises is inspected. The analytical expressions, allowing to analyze the characteristics of acoustic fields are received. The methodical of calculation for definition of frequencies, of sound pressures and of characteristics of direction are work out.