

# ПОСТРОЕНИЕ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ЗОНЫ ШУМА ВЕТРО- ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ ПРИ ПОМОЩИ R-ФУНКЦИЙ

**Я.А. Сериков**

Кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой\*

Контактный тел.: (057) 707-33-18

E-mail serikov@ksame.kharkov.ua

**В.Э. Лисицин**

Младший научный сотрудник

Научно-исследовательский центр

Академия внутренних войск МВД Украины  
пл. Восстания, 3, г. Харьков, Украина, 61166

Контактный тел.: 066-766-54-02

E-mail lisivladimir@yandex.ru

**Е.М. Пархоменко**

Аспирантка\*

\*Кафедра «Безопасность жизнедеятельности»  
Харьковская национальная академия городского

хозяйства

ул. Революции, 12, г. Харьков, Украина, 61001

Контактный тел.: (057) 707-32-42

E-mail rigena@mail.ru

*Розглядаються проблеми охорони праці персоналу вітростанцій та їх екологічний вплив на флору та фауну. Описано застосування геоінформаційних систем для побудови інтегральних зон шуму з використанням R-функцій.*

*Ключові слова: вітроелектрична станція, охорона праці, шум, інфразвук, геоінформаційні системи*

*Рассматриваются проблемы охраны труда персонала ветростанций и их экологического влияния на флору и фауну. Описано применение геоинформационных систем для построения интегральных зон шума с использованием R-функций*

*Ключевые слова: ветроэлектрическая станция, охрана труда, шум, инфразвук, геоинформационные системы*

*The problems of labour protection of personnel of vetrostantsy and this ecological influence on a flora and fauna are examined. The geoinformation systems application for construction of integral areas of noise with the R - use - functions*

*Key words: Wind energy power stations, labor protection, noise, infrasound, geoinformation systems*

## 1. Введение

В наше время человек постоянно находится под влиянием различных негативных факторов: производственных, экологических, экономических, социальных. Огромную роль в сохранении его здоровья и нормального развития составляет уровень безопасности жизнедеятельности человека, как в условиях жилой среды, так и в условиях производства.

## 2. Актуальность

Проблемы, связанные с охраной окружающей среды, привели к тому, что во всех сферах промышленности и быта разработчики обращают внимание на нарушение экологического равновесия в биосфере

Земли. Причем в основном, давно сформированные промышленные комплексы, предприятия, электрические станции оказывают огромное отрицательное влияние на экологию [1-6]. Поэтому, естественным есть повышение внимание к разработкам нетрадиционных источников энергии, который вызван, прежде всего, экологическим состоянием окружающей среды, интенсивностью и количеством использования полезных ископаемых. Одним из путей решения экологических проблем в этом направлении является использование ветроэлектрических станций (ВЭС). Однако, использование ВЭС также характеризуется определенным отрицательным влиянием на экологическое равновесие и работающих. Причем, это влияние в настоящее время изучено не достаточно полно. Рассматривая этап эксплуатации ВЭС с позиций их влияния на экологию и человека необходимо отметить следующее.

Во время работы на ветроэлектрической станции обслуживающий персонал находится под воздействием ряда негативных факторов, которые, действуя в совокупности, могут привести к нежелательным последствиям по отношению к его здоровью. На работающих влияет: пониженная и повышенная температура окружающей среды, ультрафиолетовое излучение, электромагнитные излучения ветроэнергетической установки (ВЭУ), шум, инфразвук. Персонал также выполняет ряд работ разной физической тяжести (ремонт ВЭУ), в сочетании с решением умственных задач.

### 3. Постановка проблемы

Внедрение нового оборудования в эксплуатацию сопровождается рядом факторов, которые, как правило, требуют более детального изучения. Использование ветроэнергетических установок в промышленности открывает широкие возможности для решения насущных задач человечества, однако, также требует более подробного исследования относительно их влияние на человека, флору и фауну.

Предварительные исследования ВЭС с позиций их негативного влияния показали, что одним из основных факторов является повышенный уровень шума [1]. Анализ литературных данных показывает, что при работе ветроэнергетической установки генерируется четыре типа шума, отличающихся временными и спектральными характеристиками: тональный, широкополосный, низкочастотный и импульсный [2]. Шум, воспроизводимый ветротурбинами, по природе возникновения классифицируется на такие группы: магнитный, механический и аэродинамический.

С целью исследования негативного влияния ВЭУ на персонал, специалисты НИИ гигиены труда и профзаболеваний Харьковского национального медицинского университета совместно с ХНАГХ провели исследование на Донузлавской ветростанции (г. Евпатория). Исследовались условия труда основных профессиональных групп с целью аттестации рабочих мест. В результате проведенных исследований в ряде случаев были зафиксированы превышения уровня шума. Так, уровень звука превышает допустимое значение на 11 дБА, а эквивалентный уровень шума - допустимое значение на 9 дБА. Уровень шума по спектру превышает допустимые значения на 9-12 дБА на частотах 250 – 8000 Гц. Измеренный общий уровень инфразвука составляет 110 дБ, а по спектру 97 – 105 дБ, что свидетельствует о его превышении над нормированными (предельно допустимыми) значениями.

### 4. Задача

Для повсеместного использования ВЭУ необходимо нормализовать шумовое воздействие на работающий персонал, а также на флору и фауну. Поэтому основной задачей, которую необходимо решить, является обеспечение акустической безопасности работа-

ющих на территории ВЭС и населения в селитебной зоне, прилегающей к ВЭС.

Существующая методика [8] позволяет экспериментальным путем определить уровень шума и инфразвука, который генерирует ВЭУ. Однако она не указывает, какие именно средства и методы необходимо использовать для защиты от шумового влияния ВЭУ. Для решения этой задачи были привлечены средства, используемые в геоинформационных системах (ГИС). С помощью (ГИС) нами была разработана среда, в которой можно смоделировать процесс распространения шума и инфразвука. Для моделирования процесса распространения акустических колебаний, генерируемых ВЭС, рассмотрим более детально использование приложения ГИС MapObjects с применением R-функций.

### 5. Выбор проекции карты

Выполняя моделирование на электронной карте очень важно обеспечить корректность числовых характеристик интегральных зон шума. При переходе от объектов реальной земной поверхности к плоской модели листа карты могут возникать ошибки перепроецирования, приводящие к погрешностям в вычислении площадей интегральных зон шума и составляющие десятки процентов от исходных величин. Эти ошибки следует уменьшить, что достигается соответствующим выбором картографической проекции, сводящей к минимуму искажения формы, размеров, площадей и направлений для объектов на электронной карте. В нашем проекте для отображения векторных и растровых слоев была выбрана проекция Пулково - 1942 (одна из разновидностей проекции Гаусса-Крюгера).

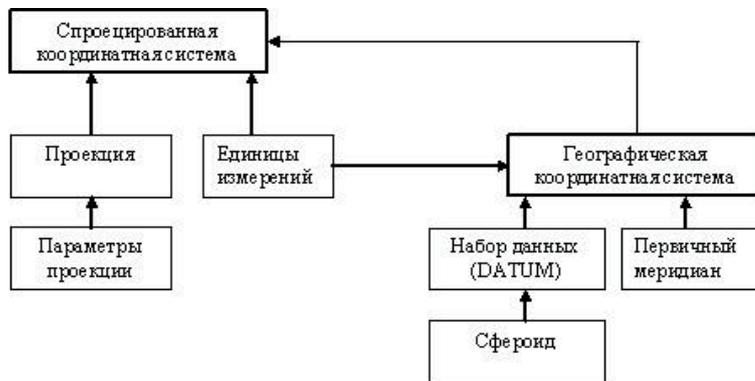


Рис. 1. Объекты, формирующие координатную систему карты проекта

В библиотеке разработки приложений ГИС MapObjects задано большое количество предопределенных типов для спроецированных [9-11] и географических координатных систем. Поэтому, для представления слоя в выбранной системе следует только выбрать нужную константу и создать соответствующий стандартный объект координатной системы, все параметры которого будут установлены автоматически. Однако, если хотя бы один параметр создаваемого объекта требуется задать нестандартным, то придется пройти через создание всей сложной иерархической цепочки объектов, описывающих координатную систему.

Из структуры элементов формируют координатную систему карты, (рис. 1), видно, что каждая спроецированная система в MapObjects связана с базовой географической координатной системой, то есть требует задания таких параметров как радиус большой и малой осей сфероида, эксцентриситет, номер первичного меридиана, единицы измерения и пр. При пересчете из одной проекции в другую необходимо учитывать тот факт, что эти две координатные системы могут обладать разными наборами данных и параметрами. Такое различие исходных и результирующих данных иногда обозначают термином «смещение данных» - DATUM SHIFT. В частности, системы WGS-84 и Гаусса-Крюгера 1942 г. базируются на различных сфероиде. Для того чтобы при переходе из одной системы координат в другую в MapObjects обеспечить точность пересчета длин, координат вершин объектов, площадей, следует использовать объект GeoTransformation библиотеки MapObjects. При помощи константы moGeoTransformation\_Pulkovo1942\_To\_WGS1984 и указания направления трансформирования (прямое или обратное) осуществляется корректный пересчет координат трансформирования из одной системы в другую.

**6. Выбор метода построения интегральной зоны шума на электронной карте**

Библиотека разработки MapObjects предлагает для построения интегральных зон методы, основанные на стандартных операциях пространственного анализа UNION (объединение), XOR (исключающее ИЛИ), INTERSECT (пересечение) и DIFFERENCE (геометрическая разность), выполняемых над полигональными объектами. Такой подход обладает рядом недостатков.

1. Применение стандартных методов не эффективно в случае, если необходимо построить интегральную зону явления определенной кратности перекрытия. Например, отобразить на карте зону шума, обусловленную работой не менее чем двух (трех, и т.д.) ВЭУ. С возрастанием показателя кратности, стандартные операции порождают все большее количество промежуточных полигональных объектов.

2. При изменении предиката, описывающего логику построения интегральной области, приходится порой очень сильно перерабатывать алгоритм вычислений. Хотелось бы использовать более формализованный и устойчивый подход.

3. Программирование очень усложняется, если в результате применения вышеуказанных методов получается объект другого типа. Например, прямоугольник или точка полученные в результате пересечения двух полигонов. В этом случае в коде приходится учитывать изменение типа выходного объекта.

4. Очень часто, на вид вычисляемой интегральной зоны шума оказывают влияние дополнительные зональные факторы. Например, попадает или нет область шума в границы рекреационной зоны? Или – находится ли область шума ближе, чем допустимое расстояние до границы выбранных земельных участков?

Подчеркнем еще раз, что в данном случае речь идет не о применении инструментов пространственного анализа ГИС в ручном режиме, а о четкой формализации и программной реализации модели.

**7. R-функции**

R-функции - числовая функция действительных переменных, знак которых полностью определяется знаком её аргументов при соответствующим разбития числовой оси на интервалы  $-\infty, 0$  и  $0, \infty$ .

Проведенные исследования на Донузлавской ветростанции указывают, что электрическую энергию вырабатывают ВЭУ средней мощности серии USW 56-100 с одинаковыми техническими характеристиками, поэтому очевидно, что характер распространения акустического излучение будет одинаковые (рис. 2). Рассмотрим вариант построения математического уравнения для области приведенной на рис. 3, без учета рельефа. Каждый из рассматриваемых объектов задается координатами своих вершин.

Академиком В.Л. Рвачевым были введены R-функции, которыми мы и воспользуемся. Первым шагом, формируем логику построения контуров объектов. Моделируемая область, ограниченная тремя окружностями с радиусами R. Сформируем логическую формулу для интегральной области  $\Omega$ , образованной областями акустического излучения трех ВЭУ:

$$\Omega = (\Omega_1 \cap \Omega_2 \cap \Omega_3) \cup (\Omega_1 \cup \Omega_2 \cup \Omega_3), \tag{1}$$

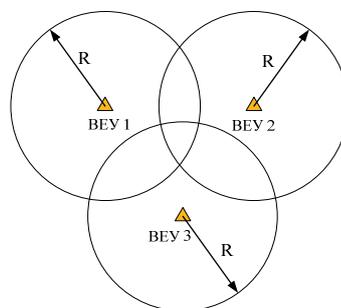


Рис. 2. Графическое изображение акустического излучения ВЭУ

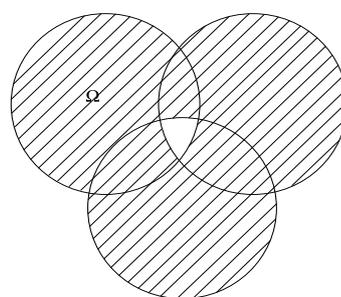


Рис. 3. Моделируемая область  $\Omega$

Запишем неравенство, определяющие элементарные области:

$$\left. \begin{aligned} \Omega_1 &\equiv (R^2 - X_1^2 - Y_1^2) \\ \Omega_2 &\equiv (R^2 - X_2^2 - Y_2^2) \\ \Omega_3 &\equiv (R^2 - X_3^2 - Y_3^2) \end{aligned} \right\}, \tag{2}$$

Выходя из выше изложенного формула (1) примет следующий вид

$$\Omega = ((R^2 - X_1^2 - Y_1^2) \cap (R^2 - X_2^2 - Y_2^2) \cap (R^2 - X_3^2 - Y_3^2)) \cup ((R^2 - X_1^2 - Y_1^2) \cup (R^2 - X_2^2 - Y_2^2) \cup (R^2 - X_3^2 - Y_3^2))$$

Операции конъюнкции, дизъюнкции и отрицания, в качестве R – функции, можно представить следующими функциями действительных аргументов.

$$\left. \begin{aligned} x \wedge y &= x + y - \sqrt{x^2 + y^2} \\ x \vee y &= x + y + \sqrt{x^2 + y^2} \\ \bar{x} &= -x \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Запишем при помощи R – функций область соответствующую объединению областей  $\Omega_1$  и  $\Omega_2$  :

$$\Omega_{12} = \Omega_1 \cup \Omega_2 = (R^2 - X_1^2 - Y_1^2) + (R^2 - X_2^2 - Y_2^2) + \sqrt{(R^2 - X_1^2 - Y_1^2)(R^2 - X_2^2 - Y_2^2)} \quad (4)$$

Полученное уравнение для двух областей достаточно тяжело для человеческого восприятия, не говоря уже о математическом описании ветрового поля, где количество достигает сотни ВЭУ. Для решения этого вопроса ведется разработка по написанию программы с использованием геоинформационных систем MapObjects. С помощью программы проводится ряд расчетов и строится электронная карта, на которой будут выделены зоны распространения шумового влияния ВЭУ с помощью R-функций (рис. 4).

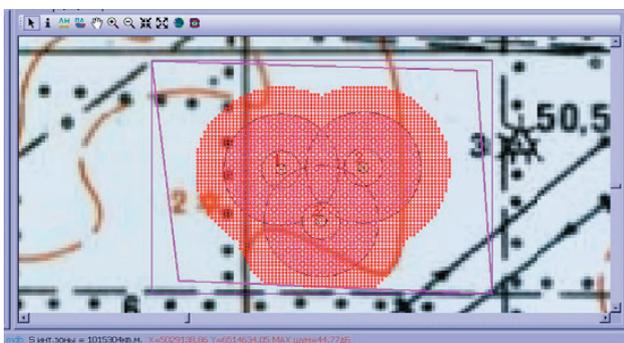


Рис. 4. Построения интегральной области шума

### 8. Выводы

Приведенный анализ антропогенных факторов на ВЭС указывает на необходимость решения задачи по снижению негативного влияния этого вида нетрадиционных возобновляемых источников на человека и окружающую среду. Приоритетным направлением в решении этой задачи является решение ее на этапе проектирования. Одним из самых существенных негативных факторов является повышенный уровень шума и инфразвука.

Для решения этой задачи было разработано программное обеспечение с применением приложений ГИС MapObjects. В программе предложен альтернативный подход решения задачи построения интегральной зоны шума на электронной карте при помощи R-функций, введенных академиком В.Л. Рвачевым [10, 11].

### Литература

1. Сериков Я.О., Пархоменко О.М. Виробничий травматизм та професійні захворювання на вітроелектричній станції / Зб.тез «Охорона праці та соціальний захист працівників». - К.; 2008., с.402 – 405.
2. Сериков Я.А., Пархоменко Е.М. Технично-екологічний аналіз вітроенергетики і вітроенергетических установок, як джерел шуму / Сб.трудоу ХХ сесії Російського акустического общества. Т.3. «Акустика речі. Медичинська і біологіческа акустика. Архітектурна і будівельна акустика. Шуми і вібрації. Аероакустика» М.; ГЕОС, 2008. С. 298 – 302.
3. Лаптев А.А., Приемов С.И., Родичкин И.Д., Шемшученко Ю.С., Охрана и оптимизация окружающей среды / Под ред. А.А. Лаптева. - К: Лебедь, 1990. – 256 с.
4. Я.А. Сериков, Н. А. Кинжалова, А.В. Фролов, С.Я. Сериков / Под редакцией Серикова Я. А. Харьков, 2010. - 357 с.
5. Я.О. Серіков (Україна), Л. Коженевські (Польща): Безпека життєдіяльності - секюритологія. Підручник. – 398 с.
6. Сериков Я.О., Пархоменко Е.М. Анализ и исследование акустического воздействия ветроэлектрических станций на сельтебную зону и работающих / Материалы Международной научно-практической конференции. Часть I «Современные проблемы безопасности жизнедеятельности: опыт, проблемы, поиски решения» / Под общей ред. д-ра техн. наук, проф. Р.Н. Минниханова. – Казань: ГУ «Научный центр безопасности жизнедеятельности детей», 2010. – С. 81 – 87.
7. Дмитриев Г.С. Что несет с собой развитие ветроэнергетики (экологические аспекты)//Энергия, техника, экология. – 2004 г., № 8. С. 11 – 19.
8. ДСТУ ІЕС 61400-11:2002 Системи турбогенераторні вітряні ч.11 Методика вимірювання акустичного шуму.
9. ArcGIS 9 Картографіческіе проєкції. Environmental System Research Institute Inc. 2000. Russian translation by DATA+ Ltd. 109 pp.
10. Рвачев В.Л. Геометрическіе приложєния алгебры логики. – Киев: Техніка, 1967. – 212 с.
11. Рвачев В.Л. Теория R- функций и некоторые ее приложєния. – Киев: Наукова думка, 1982. – 535 с.