

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭХО-СИГНАЛОВ АКУСТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ АТМОСФЕРЫ В ЗОНЕ МЕГАПОЛИСА

Бондаренко М.Ф., Семенец В.В., Леонидов В.И.

Харьковский национальный университет радиоэлектроники

61166, Харьков, пр. Ленина 14, каф. Биомедицинских электронных систем

Тел. (057) 702 -13 -64, e-mail: bykh@kture.kharkov.ua; факс(057) 702-11-13

The local thermodynamics state of atmosphere is examined in the megapolys area in clear days at the intensive sun warming up of laying surface

Введение. Исследование причин глобального потепления климата планеты, развитие численных методов прогнозирования катаклизмов, разработка методов активного воздействия на погодные системы требуют создания информационной сети, позволяющей в реальном масштабе времени получать некоторый объем информации, достаточный для расчета распределений метеоэлементов, а также для расчетов конвективных и турбулентных потоков тепла в атмосферном пограничном слое (АПС) над территориями синоптического масштаба.

Информационная система, отвечающая поставленным требованиям, может быть создана на базе метеорологических локационных систем дистанционного акустического, радиоакустического и радиолокационного зондирования АПС.

Роль систем АЗ в комплексной информационной системе (КИС) состоит в идентификации некоторых типов термодинамического состояния (ТДС) АПС, при которых наблюдается развитый процесс турбулентного теплообмена, а также в получении исходных данных для разработки моделей количественного описания пространственно-временного распределения метеоэлементов над территориями синоптического масштаба.

Целью настоящей работы является обоснование возможности использования АЗ для решение одной частной задачи, состоящей в идентификации особого термодинамического состояния АПС, при котором наблюдается развитый процесс притока явного тепла в атмосферу и который поддерживается процессом турбулентного теплообмена в режиме контактной конвекции в приземном слое АПС.

Сущность. Эхограммы акустического зондирования АПС, полученные в условиях интенсивного прогрева подстилающей поверхности, показывают существенные различия в пространственно-временных структурах (ПВС) эхо-сигналов, полученных в жаркий летний день в зоне мегаполиса и над зоной с естественным ландшафтом. На рис. 1 приведен пример записи, полученной в зоне мегаполиса в летний день при слабой облачности при высоте h установки локатора $h \cong 20 м$ над поверхностью Земли (на крыше здания).

Возникновение относительно мощного акустического эхо-сигнала свидетельствует о генерации при этом состоянии развитой микромасштабной [1,2] турбулентности (ММТ) в поле температуры. При этом мы считаем, что основными источниками тепла являются элементы инфраструктуры мегаполиса, получившие нагрев под действием солнечной радиации инфракрасного диапазона электромагнитных волн.

Автоматическая идентификация ТДС такого типа позволит применить специализированную модель расчета притока тепла в АПС и, таким образом, учесть дополнительный, до настоящего времени не учтенный, фактор потепления атмосферного воздуха и, следовательно, климата планеты.

Учитывая, что площадь, занимаемая мегаполисами составляет значительную часть поверхности суши, мы предполагаем, что доля тепла, поступающая в атмосферу за счет теплоотдачи от нагретых элементов инфраструктуры мегаполисов достаточно велика для того, чтобы существенно ускорить процесс потепления климата планеты. Эти предпо-

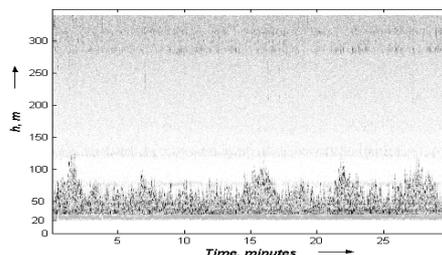


Рис. 1

жения, по-видимому, в значительной степени оправданы в отношении территории Европейской части континента и северной Америки, а также некоторых регионов Дальнего Востока.

Структура эхо-сигналов, получаемых в приземном слое в летнее время при слабой облачности и при интенсивном прогреве подстилающей поверхности в зоне мегаполиса при скорости ветра $V_2 = (0,5 \div 2) м/с$, характеризуется отсутствием организованных термических струй и по внешнему виду ближе к структуре, получаемой при устойчивом ТДС со сдвигом ветра [3]. Верхняя граница слоя рассеяния представлена некоторой минимальной мощностью (высотой) слоя, относительно которой наблюдаются квазипериодические всплески высотой до $h \cong 120 м$, возникающие, по-видимому, под действием изменений скорости ветра. Внутри слоя пространственно-временная структура эхо-сигналов статистически однородна.

Термодинамическая модель возмущенного слоя в зоне мегаполиса определяет высоту слоя шероховатости, которая существенно зависит от высоты и плотности расположения зданий и сооружений. Процесс формирования возмущенного слоя над мегаполисом отличен от процесса формирования термических струй [4].

Основной (входной) поток, который возможно содержит организованную (ячейковую) структуру, дробится в приземном слое при взаимодействии с элементами инфраструктуры мегаполиса (строениями), на более мелкие вихри. Следовательно, в спектре флуктуаций верхней границы при смешении струй от отдельных, рядом расположенных элементов, появляются относительно короткопериодные составляющие.

В ясные дни элементы мегаполиса прогреваются под действием солнечных лучей. Нагретые вихри приобретают силу плавучести и создают турбулентный слой также и в поле температуры.

При увеличении скорости ветра возрастает интенсивность перемешивания, следовательно, температура вихрей приобретает тенденцию к выравниванию. В результате этого мощность турбулентного слоя уменьшается, а скорость теплопередачи растет.

Рассмотренные процессы объясняют существование эхо-сигнала в виде турбулентного слоя с флуктуирующей мощностью.

Исследуем особенности эхограмм, получаемых при ТДС такого типа.

Модель эхограммы представим в виде $m \times n$ матрицы U амплитуд эхо сигналов, у которой вектор-столбцы есть векторы $\mathbf{u}_j = (u_{1j}, u_{2j} \dots u_{mj})$ моделей единичных профилей эхосигналов $U_{sj}(h_i)$, где $i = (1, 2 \dots m)$, $m = \frac{h_{\max}}{\Delta h}$, h_{\max} - высота зондируемого слоя атмосферы, Δh - дискретный шаг высоты. Полагая $\Delta h = 1 м$ и $h_{\max} = 510 м$, получим $m = 510$. Координата высоты зондирования $h(i) = i \cdot \Delta h_p$, где i - номера строки матрицы U .

Примем длительность выборки $T_{MB} = 0,5 час$, период повторения зондирующих импульсов $T_F = 2h_{\max}/C_s$, где $C_s \cong 340 м/с$ - скорость распространения звуковой волны. Тогда число профилей эхосигналов в матрице-выборке $n = T_{MB}/T_F = 600$ $n = 600$.

Координату времени зададим в виде $t_{3x}(j) = j \cdot T_F$, где $j = (1, 2 \dots n)$

Модель профилей эхосигнала получим из известного уравнения акустической локации

$$P_r(h) = P_{ts} \cdot 0,0039 \left(\frac{2\pi}{\lambda_s} \right)^{1/3} \cdot \left(\frac{C_T(h)}{T} \right)^2 \cdot \left(\frac{c \cdot \tau}{2} \right) A h^{-2} L + N_{ac}, \quad (1)$$

где $N_{ac} = (0,25 \cdot \mathbf{q}_N \cdot 10^{-7})^2$ - модель акустического шума, $\mathbf{q}_N = (q_1 \dots q_m)$ - вектор дискретной последовательности квазислучайных чисел, генерируемые программно с нормальным законом распределения плотности вероятности и статистическими моментами $M[q] = 0$ и $\sigma[q] = 1$.

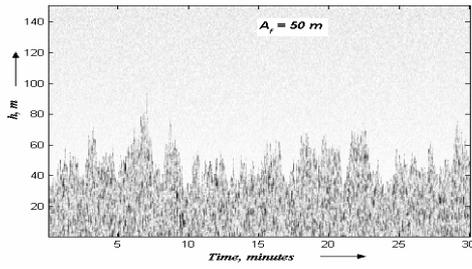


Рис. 3

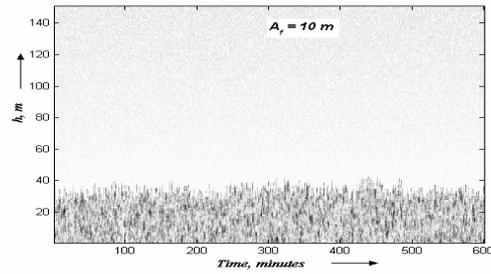


Рис. 2

Профиль параметра $C_T(h)$ в выражении (1) представим в виде двух составляющих: усредненного профиля $\bar{C}_T(h)$, вид которого определяется типом ТДС и случайного компонента - $C_T'(h)$, обусловленного турбулентностью АПС.

Выражение для $\bar{C}_T(h)$ получим аппроксимацией реального профиля $C_T(h)$, который получим из выражения (1) при подстановки реального усредненного профиля мощности эхо-сигнала $P_r(h)$, полученного в результате экспериментального зондирования, то есть

$$\begin{cases} \bar{C}_T(h) = 0,625 \cdot \left(0,012 + 0,02 e^{\frac{-h^{1,85}}{5000}} \right) & \text{при } h = h_0 \div h_s \\ \bar{C}_T(h) = 0 & \text{при } h = (h_s + 1) \div h_{\max} \end{cases} \quad (2)$$

Модель $C_T'(h)$ получим, используя в качестве исходной функции вектор $\mathbf{q}_c = (q_1 \dots q_p)$, где $p = m + \tau - 1$, определяемый аналогично вектору \mathbf{q}_N .

Процедуру усреднения эхо-сигнала в пределах разрешающей способности системы по дальности Δh_d промоделируем процедурой скользящего усреднения вектора \mathbf{q}_c

$$q_\Delta(d) = k_m \frac{1}{\tau} \cdot \sum_{p=d}^{d+\tau-1} q_i(p), \text{ где } \tau = (\Delta h_d / \Delta h), d = (1, 2 \dots m), k_m - \text{ масштабный коэффициент.}$$

При $\Delta h_d = 5m$, получим $\tau = 5$,

Модель высоты возмущенного слоя h_s зададим в следующем виде

$$h_s(j) = h_0 + A_T \mathbf{q}_T + A_F \mathbf{q}_F + A_S \sin\left(\frac{2\pi}{T_F} \cdot j + A_f 2\pi\right), \quad (3)$$

где h_0 - минимальная мощность слоя, $\mathbf{q}_{T,F}$ - векторы, аналогичные вектору \mathbf{q}_c , A - весовые коэффициенты.

На рис.2-3 приведены реализации матриц-выборок эхосигналов, полученных при следующих параметрах модели: $h_0 = 15m$, $A_T = 10m$, $A_S = 1$. На рис.2 и рис.3 $A_F = 10m$ и $A_F = 50m$ соответственно.

Рассчитаем коэффициенты корреляции между двумя строками матрицы-выборки, разделенными одной строкой и построим зависимость $k_r(i) = \frac{1}{\sigma_{xi} \cdot \sigma_{x_{i+2}}} \sum_{i=1}^{n-1} (\mathbf{x}_{j,i} \cdot \mathbf{x}_{j,(i+2)})$.

На рис. 4 приведены результаты расчетов, выполненных по реализациям моделей эхограмм для ряда значений $A_F = (10, 20, 30, 40, 50)$. Вид полученных функций указывает на существование явно выраженного максимума, величина которого зависит от амплитуды пульсаций мощности возмущенного слоя. Мы предполагаем, что при анализе реаль-

ных эхограмм величина $k_{r\max}$ может быть сопоставлена с амплитудой флуктуации горизонтальной скорости ветра.

Для сопоставления с модельным расчетом, на рис. 5 приведена зависимость $k_r(i)$, полученная по реальной эхограмме, приведенной на рис. 1.

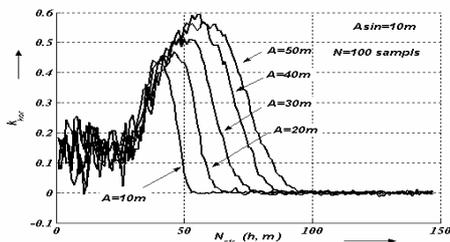


Рис. 4

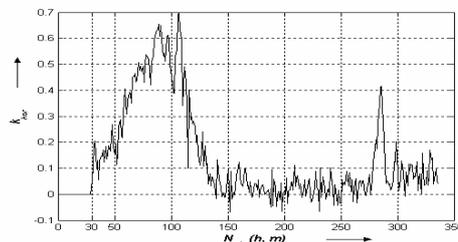


Рис. 5

Заключение. В результате проведенной работы на основании анализа результатов акустического зондирования атмосферы построена модель эхосигналов акустического зондирования при развитом притоке тепла, поддерживаемого контактной конвекцией в приземном слое атмосферы. Проведен модельный анализ эхосигналов и выявлены особенности эхограмм, получаемых в условиях интенсивного притока тепла в приземном атмосферном слое.

Литература

1. Ж.В. Мигем, Энергетика атмосферы Под ред. Л.Т. Матвеева, Гидрометиздат, Л., 1977, 328 с.
2. Л.Г. Макалистер, А.Р. Махони, Д.Р. Поллард, П.Д.Р. Шоу. Акустическое зондирование – новый метод исследования строения атмосферы. //Тр. ИИЭР – 1968. - №4.- С.231-240.
3. Семенец В.В., Леонидов В.И. Методика акустического зондирования в задаче экологического контроля пограничного слоя атмосферы. Прикладная радиоэлектроника, №3, 2005, с.
4. Леонидов В.И. Усовершенствование комплексной системы радиоакустического и акустического зондирования пограничного слоя атмосферы. Прикладная радиоэлектроника Том 5, №2 2006, с 201-213.