

Аналізується можливість використання систем акустичного зондування в проблемі реєстрації потоків явного тепла, що виникають в атмосфері в зоні мегаполісу. Вивчаються особливості амплітудно-часових структур ехосигналів системи акустичного зондування з високою роздільною здатністю

Ключові слова: локатор, акустика, зондування, атмосфера, ехосигнали

Анализируется возможность использования систем акустического зондирования в проблеме регистрации потоков явного тепла, которые возникают в атмосфере в зоне мегаполиса. Изучаются особенности амплитудно-временных структур эхосигналов системы акустического зондирования с высокой разрешающей способностью

Ключевые слова: локатор, акустика, зондирование, атмосфера, эхосигналы

The possibility of using acoustic sounding systems in the problem of registration of sensible heat fluxes, which occur in the atmosphere in the area of metropolitan is analyzed. The features of the amplitude-time structure of acoustic echo-signals with high resolution are studied

Keywords: locator, acoustic, sounding, atmosphere, echo-signals

АКУСТИЧЕСКОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ АТМОСФЕРЫ В ПРОБЛЕМЕ ИЗУЧЕНИЯ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛООБМЕНА В ЗОНЕ МЕГАПОЛИСА

В. В. Семенец

Доктор технических наук, профессор, первый проректор*

Контактный тел.: (057) 702-18-07

E-mail: valery@kture.kharkov.ua

В. И. Леонидов

Кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник

*Кафедра биомедицинских электронных приборов и систем

Харьковский Национальный университет радиоэлектроники

пр. Ленина, 14, г. Харьков, Украина, 61166

Контактный тел.: (057) 702-13-64

E-mail: vlivlv@kture.kharkov.ua

1. Введение

В настоящее время, в связи с бурным развитием мегаполисов, проблема экологии мест компактного проживания людей становится одной из наиболее важных проблем современности.

Цель изучения процессов между подстилающей поверхностью и атмосферой в зоне мегаполиса состоит в выявлении причин возникновения неблагоприятных термодинамических состояний, которые приводят к повышению концентрации вредных выбросов, к созданию дискомфортных условий для жизни и провоцируют опасные приступы расстройства функциональных систем организма человека.

Также весьма важным является разработка в этой области еще одного научного направления - исследование влияния процессов теплообмена в зоне мегаполиса на формирование погодных систем синоптического масштаба. В этом отношении мы выдвигаем гипотезу, состоящую в том, что приток тепла в атмосферу, сформированный мегаполисом не за счет сжигания топли-

ва, а за счет только турбулентных молей, получивших тепло в результате их контакта с нагретой поверхностью зданий и сооружений, существенно ускоряет процесс потепления климата планеты [1].

Процессы теплообмена являются движущей силой всех изменений в погодных условиях. Именно потому основным подходом к решению проблемы прогнозирования состояния воздушной среды, в том числе и в зоне мегаполисов, является *моделирование процессов притока и преобразования тепла* в атмосферном пограничном слое (АПС).

Очевидно, что создание моделей теплообмена имеет смысл только для некоторого перечня квазистационарных состояний атмосферного пограничного слоя (АПС). Следовательно, актуальной является проблема создания методов и средств классификации квазистационарных термодинамических состояний АПС.

Мы рассматриваем акустическое зондирование атмосферы как метод, позволяющий решать задачу классификации квазистационарных термодинамических состояний, при этом качественно новой информацией

будет расширенный перечень типов ТДС, построенный на основе анализа акустических эхосигналов, полученных в результате регулярных экспериментальных наблюдений в режиме мониторинга.

2. Анализ акустических эхосигналов

В настоящее время в мировой науке и практике развитию метода акустического зондирования уделяется очень большое внимание. Суть метода и области его применения приведены, например, в работах [2-7].

Анализ публикаций по акустическому зондированию показывает, что основные усилия исследователей сосредоточены на развитии аналитических или «прямых» методов извлечения информации, основанных на применении эмпирических формул, описывающих связь между мощностью эхосигналов и коэффициентами структурных функций поля температуры и скорости и, кроме того, на развитии методов измерения доплеровского сдвига частоты эхосигнала, который связывается со скоростью движения воздушной массы в импульсном объеме.

Известны также результаты исследований в области классификации эхограмм акустического зондирования. В работе [8] в основу системы классификации был положен принцип визуального анализа. В работе [9] выдвинуто положение об определяющем значении вертикальной компоненты скорости ветра при классификации эхограмм.

В работе [10] впервые высказывается мысль о новом подходе к анализу эхограмм как к процедуре распознавания образов, предложена структура обобщенного алгоритма классификации эхограмм, в которой учитываются данные прямых контактных измерений в приземном слое атмосферы, а также данные аэрологического зондирования.

В настоящей работе развивается подход к анализу эхосигналов, изложенный в работе [10].

Цель настоящей работы – обосновать целесообразность применения акустического зондирования атмосферы для решения задачи идентификации типов ТДС в том числе и в зоне мегаполиса и, анализируя результаты реального зондирования в условиях развитого процесса теплообмена, показать, что метод акустического зондирования позволяет выделить подклассы состояний при данном квазистационарном термодинамическом процессе.

Целями акустического зондирования являются турбулентные моли в поле температуры и скорости, которые создают «скачки» волнового сопротивления воздушной среды.

Зона мегаполиса – это сложная местность. Над мегаполисом лучистая энергия, поглощенная материалом зданий, передается в воздушную среду за счет контактного теплообмена в режиме турбулентного движения (турбулентный поток тепла). Следовательно, количество тепла, которое поступает в атмосферу в зоне мегаполиса, растет при увеличении площади поверхности (высоты) зданий и плотности их расположения.

Процесс теплообмена между воздушной массой и элементами инфраструктуры мегаполиса в большинстве случаев происходит в присутствии ветра. Основ-

ной поток, при обтекании элементов мегаполиса, дробится, создавая мелкомасштабные турбулентные моли в поле скорости (полностью вынужденная конвекция). Турбулентные моли получают тепло в результате контакта с нагретой поверхностью элементов мегаполиса (контактная конвекция) в результате чего возникают турбулентные моли в поле температуры. Этот процесс интенсифицирует «накачку» тепла в атмосферу и приводит к перемешиванию воздушных масс.

Процесс перемешивания стремится уменьшить градиенты температуры. Однако при средней скорости ветра $V_T \leq 3$ м/с можно предположить, что процессы перемешивания еще не приводят к полному распаду турбулентных молей.

При скоростях ветра $V_T \leq 3$ м/с можно предположить, что атмосфера оказывается достаточно хорошо перемешанной, для того, чтобы можно было применить модели приземного слоя, в которых исходными данными являются результаты приземных измерений метеовеличин (логарифмические модели [11]) АПС. В этом случае эхосигнал акустического зондирования может отсутствовать, однако окончательное заключение по этому положению может быть получено только в результате анализа достаточного объема данных экспериментальных наблюдений.

Вертикальные профили потока тепла и их мощность в зоне над мегаполисом и за его пределами должны существенно различаться, так как в зоне мегаполиса наиболее нагретые зоны оказываются приподнятыми относительно поверхности Земли на различную высоту h , например, для г. Харькова $h \cong (20 \div 50)$ м.

Эта особенность приводит к усложнению процесса теплообмена. Можно предположить, что вследствие этого в дневное время могут возникать локальные инверсии температуры (рост температуры от поверхности Земли), которые подавляют вертикальный турбулентный обмен, что приводит к накоплению тепла в приземном слое («перегреву» подстилающей поверхности) и создает условия для «взрывного» характера передачи тепла в приземном слое. Такое состояние, например, в среднем препятствует рассеиванию вредных выбросов (выхлопных газов) в дневное время.

Теплозапас зданий, полученный в дневное время, должен приводить к формированию конвективного теплообмена в ночное время за счет того, что непокрытая подстилающая поверхность выхолаживается быстрее чем материал зданий и покрытий, то есть, теплозапас зданий поддерживает температуру воздуха в приземном слое в ночное время, что создает дополнительные дискомфортные условия в среде обитания. Инверсия выхолаживания в поле температуры может сформироваться, по-видимому, только в самом конце ночи или вообще будет отсутствовать.

Процесс теплообмена зависит также и от внешне-го по отношению к мегаполису, термодинамического состояния атмосферы, то есть от сформировавшейся погодной системы, в зоне которой находится данный регион.

Особенности факторов, определяющих процессы теплообмена в зоне мегаполиса, приводят к выводу о том, что наиболее приемлемым решением задачи измерения притока тепла, который создается мегаполисом, может быть математическая модель, разработанная

для данного мегаполиса, как для некоторого сложного объекта с учетом внешних изменений ТДС атмосферы.

Так как процессы теплообмена сопровождаются генерацией турбулентных молей (целей акустического локатора), то рассмотренные особенности термодинамических процессов должны находить свое отражение в амплитудно-временной структуре эхосигналов акустического зондирования (АЗ). Следовательно, анализ эхограмм позволяет получить информацию о типе установившегося ТДС в атмосферном пограничном слое.

Исходя из особенностей теплообмена в зоне мегаполиса, исследование вертикальной структуры турбулентности следует разбить на две области.

Во-первых, необходимо построить систему, позволяющую изучать локальные процессы формирования турбулентных молей в поле температуры в области приземного слоя.

Для решения этой задачи необходимо использовать систему с высокой разрешающей способностью по высоте $\Delta h \leq 0,5\text{м}$ и минимальной «мертвой зоной» $h_0 \rightarrow 0$, то есть в предельном случае измерения должны производиться непосредственно от поверхности Земли. Высота h действия системы в этом случае может быть ограничена величиной $h_{\text{max}} \cong 200\text{м}$, то есть, высотой приземного слоя.

Во-вторых, необходимо обеспечить мониторинг внешнего по отношению к мегаполису, ТДС атмосферы.

Для решения этой задачи необходимо анализировать результаты зондирования системой, обеспечивающей исследования в слое атмосферы высотой $h_{\text{max}} \cong 1\text{км}$. В этом случае разрешающая способность системы по дальности может удовлетворять соотношению $\Delta h \cong 5\text{м}$. Следовательно, для решения поставленных задач мониторинга термодинамических процессов в зоне мегаполиса, необходимо располагать результатами зондирования комплексной акустической системой и разработать методы анализа эхо-сигналов.

В Харьковском национальном университете радиоэлектроники создана станция акустического зондирования с высокой разрешающей способностью. Параметры системы приведены в табл.1.

Таблица 1

Параметры локатора

Параметр	Значение
Частота заполнения f_0	5000Гц
Мощность излучения электрическая P_t	160 Вт
Длительность зондирующего импульса $\tau_{\text{ц}}$	3 мс
Период повторения T_r	2 с
Излучающая антенна	Фазированная 16-ти элементная решетка
Приемная антенна	Рефлекторно-параболическая $D=0,8\text{м}$

Антенные системы помещены в защитный акустический экран. Внешний вид антенных систем станции приведен на рис.1.



а)



б)

Рис. 1. Антенная система: а) антенны, б) защитные экраны

Экспериментальные наблюдения, проведенные на станции акустического зондирования, установленной на территории Харьковского национального университета радиоэлектроники, показывают, что зондирование атмосферы в зоне мегаполиса имеет некоторые существенные особенности.

В зоне мегаполиса наблюдается высокий уровень акустических помех, которые создаются в результате производственной деятельности предприятий, а также транспортными средствами.

При зондировании атмосферы практически всегда наблюдаются эхосигналы, отраженные местными предметами - элементами инфраструктуры города.

Следовательно, обеспечение устойчивого приема эхо-сигналов в зоне мегаполиса есть первая задача, которую необходимо решать при подготовке экспериментов по акустическому зондированию атмосферы.

Вторая задача по порядку изложения, но никак, не по значимости, есть разработка методов анализа эхосигналов с целью извлечения информации о процессах теплообмена.

На рис.2 - 4. приведен ряд примеров эхограмм, полученных в летне-осенний период при зондировании атмосферы системой акустического зондирования, параметры которой приведены в табл.1. Представленные записи получены 07, 15 и 20 сентября 2011 г приблизительно в одно и тоже время суток, когда интенсивность солнечной радиации близка к максимальной.

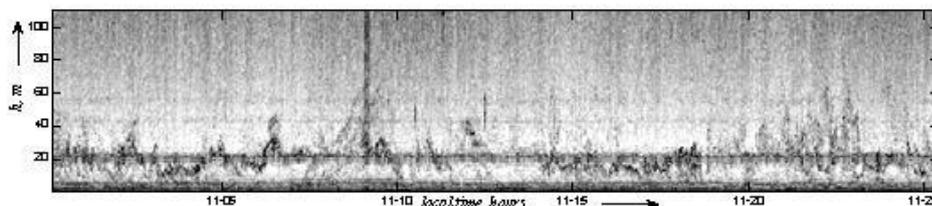


Рис. 2. Эхограмма акустического зондирования

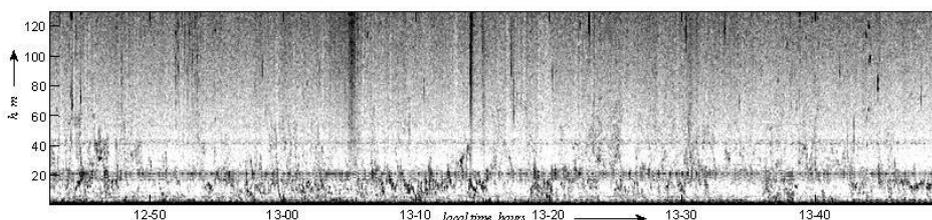


Рис.3. Эхограмма акустического зондирования

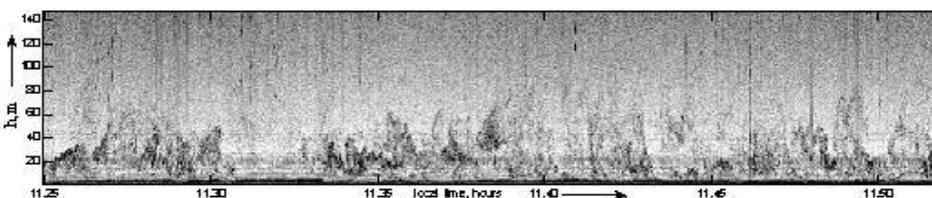


Рис. 4. Эхограмма акустического зондирования

Записи получены при почти одинаковых погодных условиях, а именно: температура воздуха $t_{в1}=20,6^{\circ}\text{C}$, $t_{в2}=24^{\circ}\text{C}$ и $t_{в3}=21^{\circ}\text{C}$ соответственно для записей рис. 2-4, скорость ветра в первом случае $V_{г}=2\text{м/с}$, во втором и третьем $V_{г}=0$, штиль, во всех случаях кучево-дождевой облачности нет, ясно.

Общей характеристикой полученных записей является их формальная изменчивость, несмотря на однотипные погодные условия.

Разрывной и приподнятый характер эхосигналов свидетельствует о том, что регистрировалось эхо, созданное турбулентными молями, сформированными в зоне трения, которая для мегаполиса составляет значение $z_0 \cong (20 \div 50)\text{м}$.

Запись рис.2 указывает на существование явно выраженных квазипериодических флуктуаций высоты слоя формирования турбулентных молей. Этот факт может быть сопоставлен с флуктуациями скорости

ветра, которая в этом случае в среднем составляла значение $V_{г}=2\text{м/с}$.

Это положение подтверждается содержанием записей рис.3 и 4, на которых флуктуации высоты возмущенного слоя выражены менее явно. В этих случаях средняя скорость ветра имела значение $V_{г}=0$. Наиболее наглядно это положение иллюстрируется записью рис.4, из содержания которой можно сделать вывод о связи спонтанно возникающих областей рассеяния акустической волны со случайными порывами ветра.

Из визуального анализа полученных записей следует, что формальное разнообразие эхограмм значительно превышает число действий, которые могут быть предприняты по результатам их анализа. Например, в данном случае может быть сделано заключение относительно существования в зоне мегаполиса приподнятого турбулентного слоя, который способствует накоплению вредных выбросов. Следовательно, правомерно анализ эхограмм связать с процедурой распознавания образов, в качестве которых будут использоваться описания эхограмм акустического зондирования.

Это положение подтверждается также еще одним общим свойством рассмотренных записей. Во всех случаях наблюдаются явно выраженные акустические помехи, причем их уровень часто соизмерим с уровнем эхосигналов. Следовательно, прямое или аналитическое извлечение информации из эхосигналов в большинстве случаев буде производиться при неконтролируемом соотношении сигнал/шум. Поэтому мы развиваем другой подход к извлечению информации в системах акустического зондирования, основанный на распознавании и классификации выборок акустических эхосигналов. При таком подходе каждому из классов эхосигналов можно будет поставить в соответствие модель АПС, в том числе и модель теплообмена.

Заключение

Основным результатом работы на данном этапе есть экспериментальное подтверждение выдвинутых теоретических положений относительно факторов, влияющих на параметры моделей теплообмена между подстилающей поверхностью и атмосферой в зоне

мегаполиса при установившемся режиме интенсивной солнечной радиации.

Показана возможность регистрации и исследования системой акустического зондирования атмосферы пространственно-временных структур систем турбулентных молей, сформированных в поле температуры под влиянием инфраструктуры мегаполиса.

Определены направления усовершенствования аппаратной части и сформулированы задачи усовершен-

ствования методов извлечения информации в системах акустического зондирования атмосферы.

Результаты данной работы дают основание к проведению исследований в области получения количественных соотношений и правил извлечения геофизической информации, как в системах акустического зондирования атмосферы, так и в глобальных информационных системах, построенных на их основе.

Литература

1. Леонидов В.И. Формализация описания эхограмм акустического зондирования атмосферы в зоне мегаполиса [Текст] / В.И. Леонидов, В.В. Семенец // Радиотехника: ВсеУкр. Межвед. Научн-техн. Зб. — 2009, — вып.160. — С. 177-183.
2. Greenhut G. K. Turbulence kinetic energy budget profiles derived from doppler sodar measurements [Текст] / G. K. Greenhut, G. Mastrantonio // J. Appl. Meteorol., —1989, —28: —P. 99–106.
3. Coulter R. L. The role of acoustic sounding in a high technology era [Текст] R. L. Coulter, M. A. Kallistratova // Meteorol. and Atmos. Phys., —1999, — 71 —P. 3–13.
4. Contini, D. Mean vertical motion in PBL Measured by Doppler Sodar: Accuracy, Ambiguities, Possible improvements [Текст] / D.Contini,G. Mastrantonio, G., A. Viola, S. Argentini // J. of Atmos. and Ocean Tech, —2004. —21, —P. 1532-1544.
5. Emeis S. Remote Sensing Methods to Investigate Boundary-Layer Structures Relevant to Air Pollution in Cities [Текст] /S. Emeis, K. Schäfer, // Bound.-Layer Meteorol., —2006., — 121, —P. 377-385.
6. Kallistratova M. A. Backscattering and Reflection of Acoustic Waves in the Stable Atmospheric Boundary Layer [Текст] / M. A. Kallistratova // Proc. 14th Int. Symp. for the Advancement of Boundary Layer Remote Sensing (Proceedings), Risø National Laboratory, DTU, Denmark, — 2008. — P. 012001-1–012001-14.
7. Kallistratova M. A. On the formation of sodar return signal in the stable atmospheric boundary layer [Текст] / M. A. Kallistratova, R. D. Kouznetsov // Meteorol. Z., — 2009. —18(3) — P. 297–307.
8. Clark G.H. Pattern Recognition Studies in Acoustic Sounding [Текст] / G.H.Clark, E Charash and E.O. K. Bendun //NTES, Journal of applied meteorology, —1977 —vol. 16, — December, —P. 1365 – 1368.
9. Shurygin Ye. A. On automatic recognition of echo-sounder patterns using Doppler sodar [Текст] / Ye. A. Shurygin // Proc. 8th International Symposium on Acoustic Remote Sensing, —1996. —Moscow. —Russia. — P. 3.61 – 3.66.
10. Леонидов В.И. Автоматизация классификации амплитудно-временных структур эхо-сигналов в системах акустического зондирования пограничного слоя атмосферы [Текст] / Леонидов В.И., Сидоров Г.И.// Радиотехника, —2004. —№137. —С.123-129.
11. Матвеев Л.Т. Курс общей метеорологии. Физика атмосферы [Текст] / Л.Т. Матвеев —Л.: Гидрометиздат, 1976. —640 с.
12. Мигем Ж.В.. Энергетика атмосферы [Текст] / Ж.В. Мигем. Под ред. Л.Т. Матвеева. —Л.: Гидрометиздат, 1977.— 328 с.