

УДК 621.317.08, PACS 621.317.08:

РАЗРАБОТКА ОБЩЕЙ СТРУКТУРЫ СИСТЕМЫ РАДИОЗОНДИРОВАНИЯ АТМОСФЕРЫ В УКРАИНЕ

Д. И. Вельмискин, канд. техн. наук,
А. С. Лимонов, канд. техн. наук,
Ю. В. Лавриненко, канд. техн. наук,
Т. М. Пустовит, асс.,
И. В. Бучинская, асс.

*Одесский государственный экологический университет,
ул. Львовская, 15, 65016, Одесса, Украина, avto@odeku.edu.ua*

В статье проведен анализ существующей системы радиозондирования атмосферы Украины, определены ее недостатки, предъявлены требования, отвечающие международным стандартам. Предложена структура системы радиозондирования атмосферы с использованием радионавигационных систем GPS и "Глонасс". Авторами предложены конкретные технические решения наиболее важных элементов системы на базе современных информационных технологий.

Ключевые слова: радиозонд, метеорологические параметры, радионавигация, спутники, цифровой пакет, приемник.

1. ВВЕДЕНИЕ

Получение точной и оперативной информации о состоянии атмосферы является необходимым условием составления синоптических, авиационных и иных прогнозов, необходимых во многих сферах человеческой деятельности. Одним из основных основополагающих видов гидрометеорологических измерений (ГМИ) являются аэрологические измерения, производимые в свободной атмосфере среди которых наиболее и важное и значимое место занимает радиозондирование атмосферы (РЗА), осуществляемое с помощью аэрологических радиозондов (АРЗ), поднимаемых в свободной атмосфере газонаполненной оболочкой [1].

В настоящее время АРЗ, являющиеся основным средством получения ГМИ о состоянии тропосферы и нижней атмосферы, позволяют получить наиболее качественные данные. Зондирование – это массовые измерения, производимые одновременно в огромном количестве пунктов. На станциях аэрологического зондирования этих пунктов, объединенных между собой в единую сеть, ежедневно производят, как минимум 1-2 выпуска АРЗ в целях измерения температуры, влажности, направления и скорости ветра. На космодромах, в аэропортах и других пунктах зондирования выполняется значительно чаще.

Аэрологическая сеть Украины и других стран являются неотъемлемой частью глобальной мировой сети РЗА, всемирной службы погоды и про-

водят аэрологические наблюдения в соответствии с требованиями нормативных документов Всемирной Метеорологической организации (ВМО).

В связи с этим к техническим средствам произведения аэрологических измерений, в том числе связанных с РЗА, постоянно повышаются требования к их параметрам и характеристикам, методам обработки и предоставления информации. При этом общий процесс в области автоматизации измерений, обработки данных и телекоммуникаций также требует создание новой, более совершенной техники РЗА, отвечающей современным требованиям.

Современные требования к методам выполнения аэрологических измерений и измерительным средствам, сформулированные в техническом регламенте ВМО, требуют принципиально нового подхода к решению проблемы их метеорологического обеспечения. В соответствии с ними необходимо обеспечить единый уровень достоверности и точности измерений на всей аэрологической сети.

Однако, сравнительный анализ основных метеорологических характеристик зарубежных и отечественных систем РЗ [2] показывает, что по точности измерения температуры отечественные радиозонды уступают в 2-3 раза, а по влажности в полтора-два раза. Кроме того, следует отметить, что современные РЗ прямыми методами не измеряют скорость и направление ветра. Это, в свою очередь, не позволяет достаточно точно осуществлять прогноз погоды. Поэтому к совре-

менному АРЗ следует предъявить требования, отвечающие международным стандартам ВМО. Они состоят в следующем:

Предельная погрешность измерения температуры не должна превышать $\pm 0,5^{\circ}$;

Предельная погрешность измерения влажности не должна превышать $\pm 5\%$;

Чувствительность приемопередатчика АРЗ должна быть не хуже – 63 дБ/Вт м²;

Относительная нестабильность поднесущей частоты АРЗ не хуже 0,01 %.

Полетная масса не должна превышать 0,3 кг. Эти требования к АРЗ заставляют создавать и внедрять системы радиозондирования, построенные на основе спутниковых радионавигационных систем (СРНС). Впервые подобные системы были разработаны фирмой Vaisala [3]. Недостатком данной системы является тот факт, что она использует только СРНС GPS. В настоящее время существует еще и российская СРНС "Глонасс", использование которой совместно с GPS позволит повысить характеристики системы АРЗ.

Использование GPS и "Глонасс", двух независимо функционирующих СРНС, позволит РЗА улучшить ряд характеристик.

Во-первых, точность определения координат объектов в системе "Глонасс" выше, нежели в GPS и составляет:

- в годы максимальной солнечной активности 60 м для горизонтальных координат и 100 м для вертикальных координат;

- в годы минимальной солнечной активности – 30 и 50 м, соответственно.

Во-вторых, при использовании двух систем повышается точность определения координат АРЗ. Это связано с тем, что в "Глонасс" число орбитальных плоскостей в два раза меньше, чем в GPS ("Глонасс"–3, GPS–6), и число спутников в каждой плоскости у системы "Глонасс" в два раза больше, чем GPS ("Глонасс"–8, GPS–4). Наклон орбитальных плоскостей "Глонасс" на 10⁰ выше, чем GPS. Это означает, что система "Глонасс" может определять координаты объектов, которые находятся в более высоких широтах.

В третьих, комбинированный приемник АРЗ способен проводить мониторинг исправности спутников и не использовать неисправные спутники, если их параметры существенно отличаются от ожидаемых. В системе GPS возможности автономного мониторинга целостности ограничены: приемник либо продолжает использовать неисправный спутник, либо прекращает вычисления и переходит в режим ожидания других космических аппаратов. Данная ситуация может привести к "потере" АРЗ, так как его по-

летное время ограничено.

В четвертых, комбинированный приемник АРЗ обеспечивает высокую помехоустойчивость СРЗ, т.к. системы GPS и "Глонасс" работают параллельно в разных диапазонах частот[4].

Цель статьи: разработка структуры системы радиозондирования, позволяющей использовать как СРНС GPS, так и "Глонасс".

2. ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА. СТРУКТУРА СРА

Общая структурная схема системы радиозондирования атмосферы (СРА) с использованием СРНС "GPS" и "Глонасс", представлена на рис. 1. Данная система состоит из наземного радиотехнического комплекса (НРТК). Включены СРНС "Глонасс" и GPS.

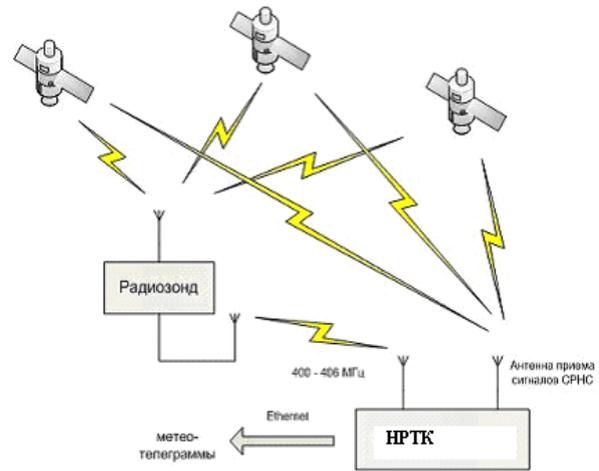


Рис. 1 – Структура СРНС РЗ

АРЗ измеряет метеорологические параметры атмосферы (температуру, влажность) и передает эту информацию по цифровому радиоканалу на НРТК, структурная схема которого представлена на рис. 2.

Сигналы АРЗ, частотой 400-408 МГц, принимаются антенно-фидерной системой (АФС) и через малошумящий усилитель (МШУ) поступают на УКВ приемник[5].

С целью повышения эффективности приемного тракта АФС приема сигналов АРЗ должна иметь две антенны. Одна из них предназначена для "ближнего", а другая – для "дальнего" приема. Антенна для "ближнего" приема должна использоваться при больших углах места АРЗ и дальности до 40 км. Антенна "дальнего" приема имеет плоскую диаграмму направленности и включается при приеме сигналов АРЗ ниже 400 и дальности больше 40 км.

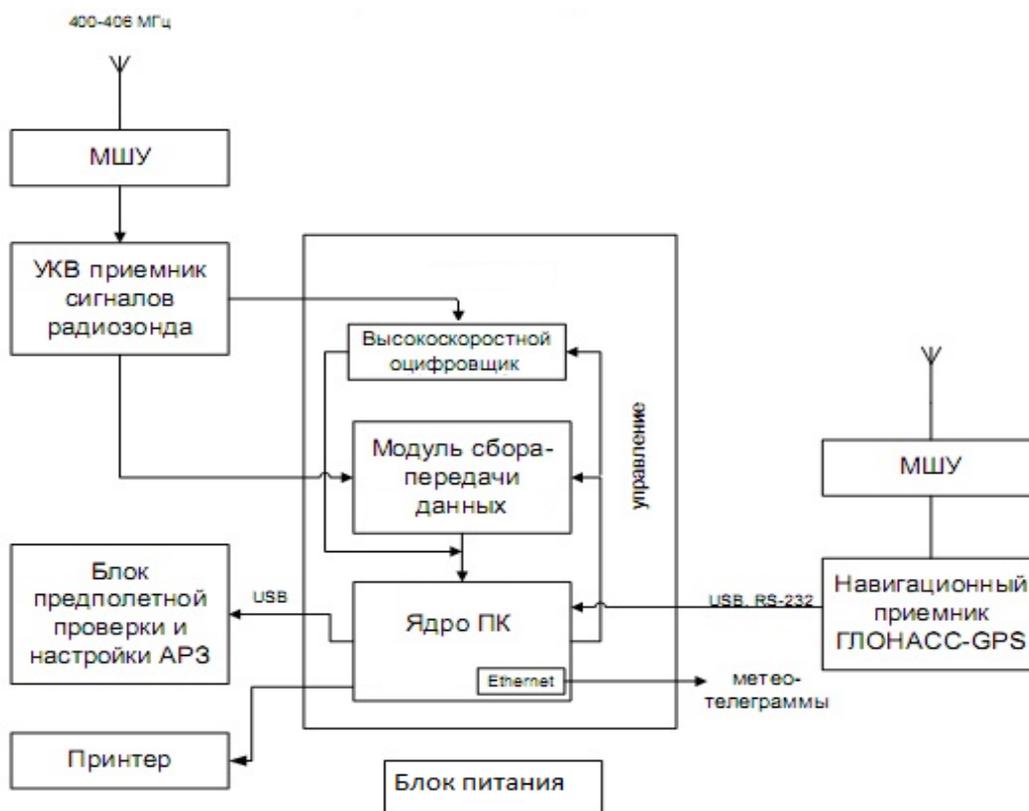


Рис. 2 – Структурная схема НРТК

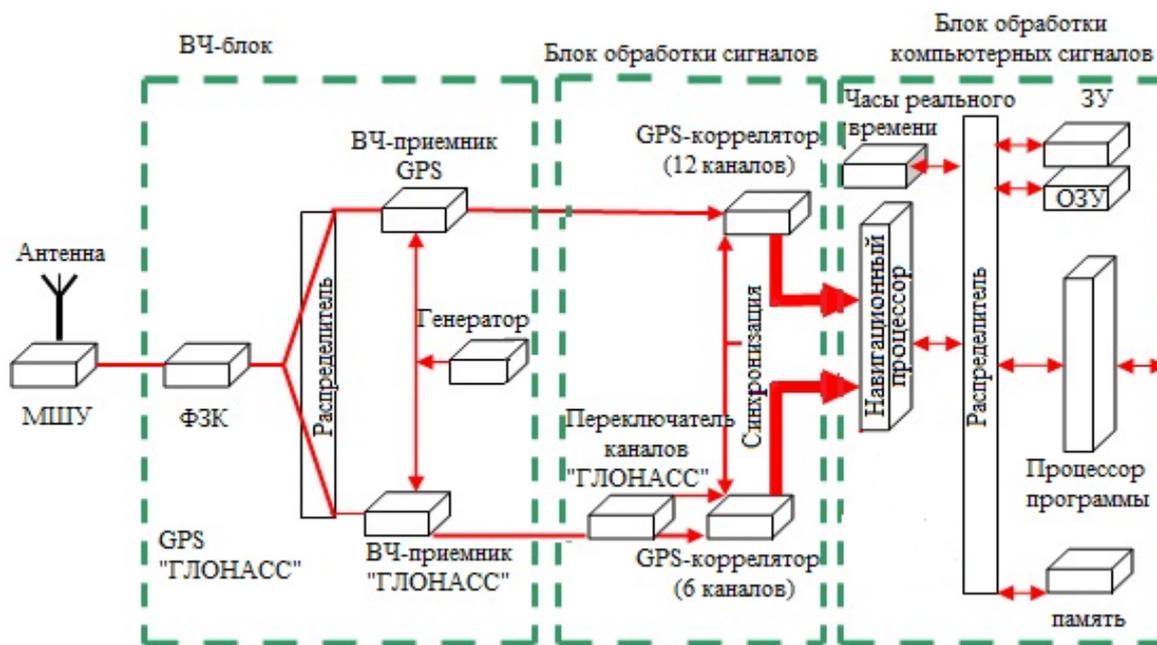


Рис. 3 – Структурная схема GPS/"Глонасс" приемника

В приемнике сигналов APЗ они демодулируются и поступают далее в ПЭВМ НРТК.

Модуль сбора данных осуществляет оцифровку принятых сигналов.

Приемник обрабатывает сигналы принятые антеннами от CPHC GPS, или "Глонасс".

В системе предусмотрен блок предполетной проверки и подготовки предназначен для проверки APЗ перед пуском и настройки частотного канала

его передатчика.

Структурная схема GPS и "Глонасс" приемника приведена на рис. 3.

Приемник состоит из высокочастотного блока (ВЧ-блока), блока обработки сигналов и общего навигационного процессора. Приемник может работать в трех режимах, выбираемых по внешней команде: только GPS, только "Глонасс" и GPS/Глонасс.

На входе приемника установлен фильтр зер-

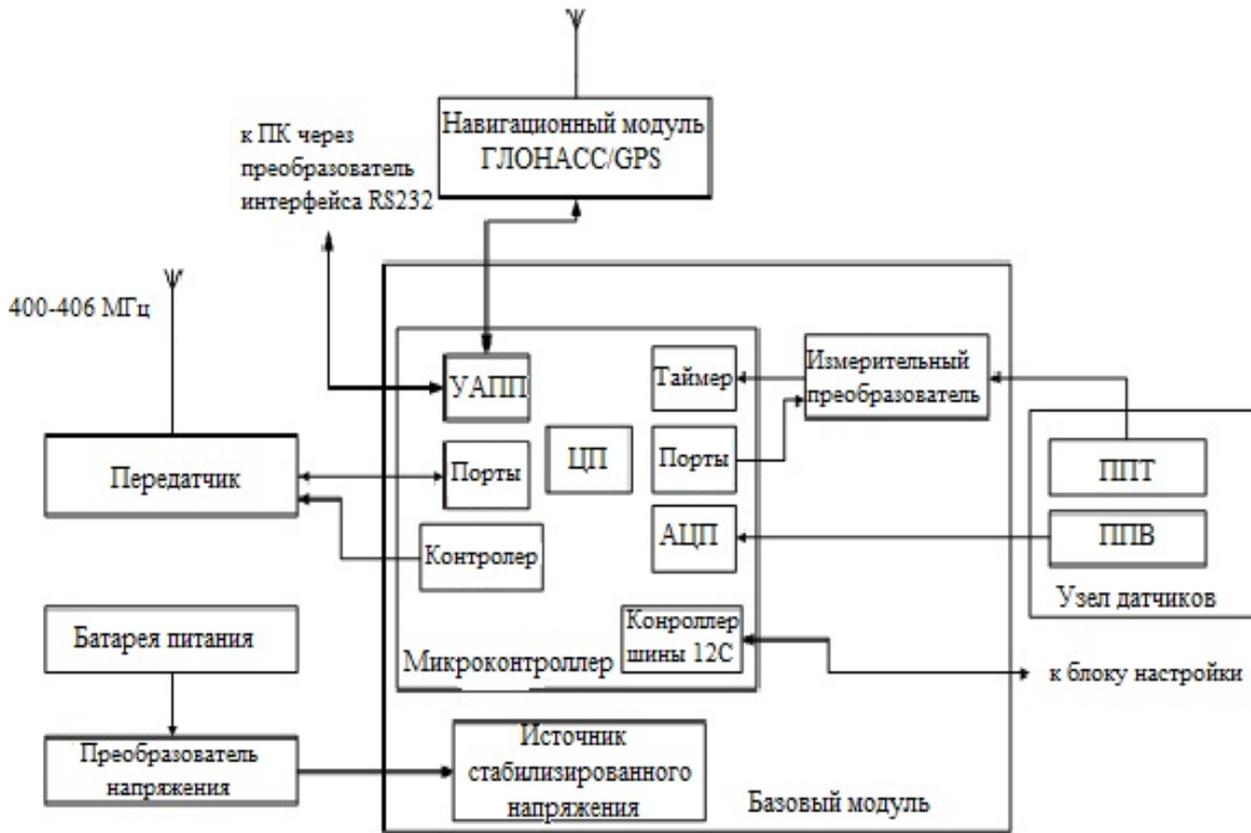


Рис. 4 – Структурная схема АРЗ

кального канала (ФЗК), который распределяет сигнал по двум каналам для отдельных ВЧ-приемников GPS и "Глонасс". К амплитудным детекторам обоих приемников подключены два аналогово-цифровых преобразователя (АЦП). С выхода АЦП навигационные сигналы поступают на два коррелятора: 12-канальный GPS – напрямую и 6-канальный "Глонасс" – через переключатель каналов "Глонасс". Синхронизация приемников осуществляется с помощью сигналов опорного генератора[6,7].

Приемники отслеживают С/А-коды и фазу несущей частоты L1 по всем каналам GPS и "Глонасс". Частота L1 равна 1575,42 МГц, ($\lambda_1=19,05$ см) для канала GPS и 1601,16 МГц ($\lambda_1=18,74$ см) для канала "Глонасс".

На основании измерений и принятых сообщений навигационный процессор выписывает координаты, вектор скорости и точное время, обеспечивающее "привязку" шкалы времени потребителя к шкале Госэталона координированного всемирного времени UTC (SU).

В настоящее время зарубежная и отечественная промышленность предлагает вполне достаточную номенклатуру GPS-"Глонасс" – приемников, различающихся числом каналов приема, скоростью обновления данных, временем вычислений, точно-

стью определения координат. С точки зрения конструкции имеются устройства двух типов: автономные – с собственными источниками питания и средствами отображения и в виде отдельных плат, встраиваемых в аппаратуру. Наиболее дешевый вариант – плата, которую можно помещать в НРТК[8].

Для работы с данным НРТК предлагается АРЗ, структурная схема которого представлена на рис. 4. АРЗ состоит из: базового модуля, навигационного модуля, модуля передатчика, модуля датчиков, модуля питания. Базовый модуль должен включать в себя микроконтроллер с 32-розрядным процессором, измерительный преобразователь, стабилизатор напряжения. Базовый модуль выполняет функции измерения выходного напряжения, первичного преобразователя влажности (ППВ) и период выходного сигнала измерительного преобразователя сопротивлением первичного преобразователя температуры (ППТ) и величиной опорного сопротивления.

Базовый модуль также принимает данные от навигационного модуля, который подключается к универсальному асинхронному приемопередатчику (УАПП), формирует цифровой пакет (ЦП) для передачи на НРТТ и управляет работой модуля передатчика. Модуль передатчика передает по ра-

диоканалу битовый поток, формируемый базовым модулем.

Модуль питания состоит из батареи питания и преобразователя напряжения, который формирует требуемое напряжение для питания базового модуля.

3. ВЫВОДЫ

Произведен анализ существующей системы радиозондирования Украины, предъявлены требования, отвечающие международным требованиям ВМО, определены недостатки системы.

Предложена структура системы радиозондирования атмосферы с совместным использованием радионавигационных систем GPS и Глонасс.

Предложены конкретные технические решения наиболее важных элементов системы на основе современных информационных технологий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сытов В. Н., Вельмискин Д. И., Лавриненко Ю. В., Лимонов А. С., Перельгин Б. В., Пустовит Т. М. Анализ системы получения и обработки результатов радиозондирования и обоснование путей ее развития // Вісник Одеського державного екологічного університету. 2006. Вип. 16. С. 232-236.
2. Вельмискин Д. И. Удосконалення методів побудови системи одержання та обробки вимірювальної інформації з метою моніторингу навколишнього середовища. НДР №0113 U000164, Розділ 3, 2013.
3. Иванов В.Э., Плохих О.В. Радионавигация в системах аэрологического радиозондирования атмосферы // Вестник ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, Проектирование и анализ радиотехнических и информационных систем: серия радиотехническая. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2004, № 18 (48).
4. Иванов В. Э., Фридзон М. Б., Ессяк С. П. Радиозондирование атмосферы. Технические и метрологические аспекты разработки и применения радиозондовых измерительных средств // УрО РАН. Екатеринбург, 2004. С. 596.

5. Перова А. И., Харисова В. Н. ГЛОНАСС: принципы построения и функционирования // Радиотехника, М., 3-е изд., 2005. С. 688.
6. Шибшаевич В. С., Дмитриев П. П., Иванцев Н. В. Спутниковые радионавигационные системы. М.: Радио и связь, 2-е изд., 1993. 408 с.
7. Hinzpeter-Max F. E. The reference radiosonde as a tool for improving meteorological data from conventional radiosondes. IEEE Trans. *Geosci. Electron.*, 1973, vol. 11, no 2, pp. 110-123.
8. Lenhard R. W. A ravished assessment of radiosonde accuracy. *Bull. Amer. Meteorol. Soc.*, 1973, vol. 54, no 7, pp. 691-694.

REFERENCES

1. Sytov V. N., Velmiskin D. I., Lavrinenko Y. B., Limonov A. S., Perelygin B. V., Pustovit T. M. *Visn. Odes. derž. ekol. univ.- Bull. Odessa State Environmental University*, 2006, no. 16, pp. 232-236 (In Russian).
2. Velmiskin D. I., *Improvement of methods of constructing a system of receiving and processing measurement information to monitor the environment. Research Work* no. 0113 U000164, Part 3, 2013. (In Ukrainian)
3. Ivanov V. E., Plokhikh O. V. Radionavigation systems in the upper-air radiosonde measurements. *Visnyk GOU VPO UGTU-UPI – Bull SEI HPT UGTU-UPI*, 2004, no. 18 (48). (In Russian)
4. Ivanov V. E., Fridzon M. B., Essyak S. P. Sounding of the atmosphere. Technical and metrological aspects of the development and application of radiosonde measuring devices. *URO RAN [Bull UB of RAS]*, 2004, pp. 596 (In Russian)
5. Perova A. I., Harisova V. N. GLONASS: principles of construction and operation. *Radiotekhnika [Radiotechniques]*. Moscow, 3d ed., 2005, pp. 688. (In Russian)
6. Shebshaevich V. S., Dmitriev P. P., Ivantsev N. V. Network satellite radio navigation system. *Radio i svyaz [Radio&Communications]*. Moscow, 2d ed., 1993, pp. 408. (In Russian)
7. Hinzpeter-Max F. E. The reference radiosonde as a tool for improving meteorological data from conventional radiosondes. *IEEE Trans. Geosci. Electron.*, 1973, vol. 11, no 2, pp. 110-123.
8. Lenhard R. W. A ravished assessment of radiosonde accuracy. *Bull. Amer. Meteorol. Soc.*, 1973, vol. 54, no 7, pp. 691-694.

DEVELOPMENT OF GENERAL STRUCTURE OF ATMOSPHERE RADIOSONDING SYSTEM IN UKRAINE

D. I. Velmiskin, cand. tech. sci.,
A. S. Limonov, cand. tech. sci.,
U. V. Lavrinenko, cand. tech. sci.,
T. M. Pustovit, ass.,
I. V. Buchinskaya, ass.

*Odessa State Environmental University,
15, Lvivska St., 65016 Odessa, Ukraine, avto@odeku.edu.ua*

Obtaining accurate and timely information about the state of the atmosphere is an important

requirement for making synoptic, aviation and other forecasts needed in many areas of human activity. One of the main fundamental types of meteorological measurements are aerological measurements produced in the free atmosphere. Among them the most important and significant place is occupied by radio sounding of the atmosphere carried out using upper-air radiosondes elevated in the free atmosphere by a gas-filled casing. The article analyzes the existing system of radio-sounding of the Ukrainian atmosphere, determines its drawbacks, highlights demands that meet international standards. The structure of the atmosphere radiosounding system using GPS and GLONASS radionavigation system was also proposed. The authors offer specific technical solutions for the most important elements of the system on the basis of modern information technologies.

Keywords: radiosondes, meteorology, parameters, complex, radionavigation, satellites, digital pocket, receiver.

РОЗРОБКА ЗАГАЛЬНОЇ СТРУКТУРИ СИСТЕМИ РАДІОЗОНДУВАННЯ АТМОСФЕРИ В УКРАЇНІ

Д.І. Вельмискин, к.т.н.,

О.С. Лімонов, к.т.н.,

Ю.В. Лавріненко, к.т.н.,

Т.М. Пустовіт асс.,

І.В. Бучинська асс.

*Одеський державний екологічний університет, вул. Львівська, 15,
65016 Одеса, Україна, avto@odeku.edu.ua*

У статті проведений аналіз існуючої системи радіозондування атмосфери України, визначені її недоліки, пред'явлені вимоги, що відповідають міжнародним стандартам. Запропонована структура системи радіозондування атмосфери з використанням радіонавігаційних систем GPS і "Глонасс". Авторами запропоновані конкретні технічні рішення найбільш важливих елементів системи на базі сучасних інформаційних технологій.

Ключові слова: радіозонд, метеорологічні параметри, радіонавігація, супутники, цифровий пакет, приймач.

Дата первого представления: 02.03.2016

Дата поступления окончательной версии : 18. 11. 2016

Дата опубликования статьи: 24. 11. 2016