

М. М. Медведський¹, к.ф.-м.н.

М. Т. Арібжанов², магістр

О. С. Гавриш², к.ф.-м.н., доцент

¹ Головна астрономічна обсерваторія НАН України
вул. академіка Заболотного, 27, м. Київ, 03680, Україна

² Черкаський державний технологічний університет
б-р Шевченка, 460, м. Черкаси, 18006, Україна, тел. (0472) 730261

ЛІДАРНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ МОНІТОРИНГУ МЕТЕОРОЛОГІЧНОГО СТАНУ АТМОСФЕРИ

В роботі розроблено лідарний комплекс для дистанційного зондування атмосфери, що є складовою частиною супутникової лазерної локаційної станції Київ-Голосіїв. Синтезована установка дозволяє проводити панорамне зондування атмосфери для кутів підвищення від 20 до 80 градусів з розрізняювальною здатністю 0,1 мкс або 15 метрів. Дана установка призначена для виявлення концентрації домішок в атмосфері в певному секторі простору.

Ключові слова: лідар, лазер, дистанційне зондування, концентрація домішок в атмосфері.

Вступ. Ефективним інструментом дослідження метеорологічного стану атмосфери протягом останніх 50 років є дистанційне зондування за допомогою лідару [1-4]. Існує багато методів лідарного зондування, які ґрунтуються на різних ефектах взаємодії лазерного випромінювання з атмосферою, наприклад, розсіяння, флуоресценції, поглинання і пропускання [2, 5]. При цьому ці методи постійно удосконалюються, що призводить до підвищення їх ефективності і розширення кола розв'язуваних задач [6, 7]. Сучасні лідарні системи зондування атмосфери дозволяють контролювати такі її фізичні параметри як тиск, температуру, швидкість вітру, а також кількісний та якісний склад домішок [4, 8]. Перевагами лідарних методів зондування атмосфери є висока просторова та часова розрізняювальна здатність, оперативність при проведенні вимірювань, можливість досліджувати великий сектор простору [8]. Проте є і обмежуючі фактори, такі як час доби; щільна хмарність або туман, які значно послаблюють лазерне випромінювання внаслідок поглинання, що зменшує висоту дослідження.

Перспективним напрямком лідарного зондування є моніторинг екологічного стану атмосфери. При проведенні таких досліджень можна виміряти концентрацію багатьох газових домішок, скласти «карти» забруднень повітря газів в промислових центрах [4, 5, 8].

Постановка задачі. В даній роботі синтезується установка для дослідження атмосфери Землі за методом лазерного зондування.

Принцип її роботи оснований на тому, що лазерний промінь під час зустрічі на своєму шляху аерозолів чи хмар диму частково або повністю розсіюється в різні сторони, в тому числі і в зворотному напрямку.

Ресстрація відбитого випромінювання відбувається за допомогою приймального пристрою – оптичного дзеркального телескопа системи Кассегрена. Всі фотони, які повернулися, реєструються фотоелектронним множувачем і далі обробляються. Чим інтенсивніший відбитий сигнал, тим більша концентрація в повітрі домішок – такий основний принцип аналізу отриманих даних. Вихідними даними виступають кути телескопа (азимут та висота над горизонтом), знаючи крок зчитування даних з пристрою (в нашому випадку 0.1 мкс або 15 м), можна побудувати контурні діаграми отриманих даних.

Мета роботи полягає в розробці функціональної схеми установки для дослідження розподілу в атмосфері хмар з різною концентрацією домішок вздовж променя зондування та її технічної реалізації.

Результати роботи. На рис. 1 зображена узагальнена схема лідару, який використовується для проведення дослідження, і схожа на принцип роботи аналогічних пристроїв [4, 9]. Лазерний передавач випромінює короткі імпульси (65 пс) на довжині хвилі зеленого спектру (532 нм).

Важливим блоком в цій схемі є, так званий, модулятор, який представляє собою дзеркальний диск з отвором, що обертається [12].

Він призначений для того, щоб використовувати один телескоп для передачі та прийому сигналу. Запуск лазера налаштований так, що він випромінює імпульс лише в момент, коли отвір знаходиться на головній оптичній осі. В цей момент промінь безперешкодно проходить через модулятор в телескоп і далі в атмосферу. Отвір у модуляторі лише частково перекриває сигнал зворотнього розсіювання, тому на фотоприймач поступають відбиті атмосферою фотони, котрі можуть бути зареєстровані. На рис. 2 наведена схема модулятора.

частота запису інформації в мікросхему становить 10 МГц, звідси і крок між сусідніми комірками 0,1 мкс.

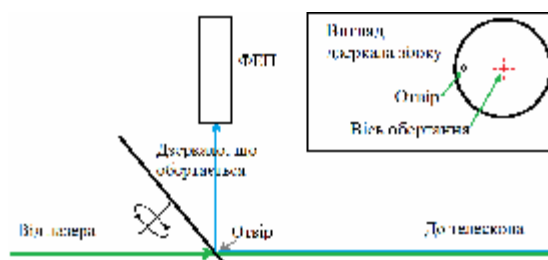


Рис. 2. Принцип роботи модулятора

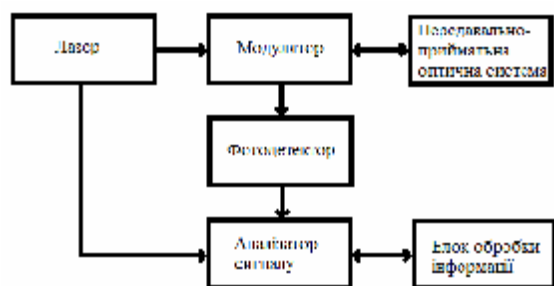


Рис. 1. Структурна схема лідару

Розглянемо детально принцип роботи розробленого лідару, функціональна схема якого наведена на рис. 3 [11]. Основну роль виконує мікросхема пам'яті, яка виконує буферну функцію між лічильником та комп'ютером. Саме ця мікросхема забезпечує необхідну роздільну здатність 0,1 мкс або 30 м. Ця цифра з'являється з тих міркувань, що

Розглянемо зв'язки і сигнали між блоками функціональної схеми лідару (рис. 3):
 START puls from LASER – сигнал старту від лазера;
 R (Reset) – сигнал скидання в нуль лічильника адреси;
 R/W (Read/Write) – сигнал, який перемикає мікросхему пам'яті в режим читання або запису;
 CLK (clock) – сигнал тактової частоти запису;
 DATA to PC – передає інформацію до ПК;
 END of measure – сигнал від лічильника адреси про закінчення процесу запису;
 CLK for READ – тактова частота читання з пам'яті;
 SYNC.GEN – сигнал синхронізації генератора для запису в пам'ять.



Рис. 3. Блок-схема лідару

Важливе місце в установці займає приймально-передавальний пристрій. В даному випадку це телескоп ТПЛ-1М супутникової лазерної локаційної станції Київ-Голосіїв системи Кассегрена з діаметром головного дзеркала 1 м [10].

В якості фотодетектора застосовується фотоелектронний помножувач ФЭУ-79 з еле-

ктронним фокусуванням електронів для вимірювання малих світлових потоків в широкій області спектра.

Пристрій часової прив'язки служить для прийому, підсилення сигналу до рівня ТТЛ зі слідуючим порогом дискримінатора. На рис. 4 зображено два графіки з однаковими за тривалістю імпульсами, але різною ампліту-

дою. Аналізуючи графіки, можна зробити висновки про необхідність застосування даного пристрою, в іншому випадку ніякої точності при зондуванні ми не отримаємо. Зауважимо, що для такої прив'язки вхідний сигнал піддається лініями затримки, інвертування, послаблення.

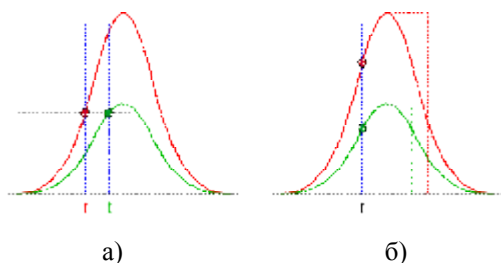


Рис. 4. Принцип роботи часової прив'язки:
а) без прив'язки, б) з прив'язкою

Всі інші блоки, крім ПК відносяться до одного електронного пристрою, але на схемі їх зображено окремо для кращого пояснення принципу роботи всієї системи в цілому.

В загальному описі можна сказати, що пристрій працює як частотомір, який рахує відбиті лазерні імпульси і записує в свою пам'ять число цих імпульсів. По завершенні цього запису комп'ютер зчитує ці дані і записує в файл. Причина застосування додаткової пам'яті в тому, що швидкодія комп'ютерного порта не дозволяє робити такі записи безпосередньо.

Лічильник події рахує відбиті імпульси і передає їх для запису в мікросхему статичної пам'яті. Даний лічильник має граничну частоту рахування 25 МГц. Слід зауважити, що було проведено вимірювання денного фону неба і частота фону, вона ж і гранична частота вхідного тракту становила 25 МГц. Це значить, що за період одного вимірювання (100 нс) в лічильник може бути записано 2,5 імпульси при максимальному числі рахування 16. З цього можна зробити висновок, що лічильник не буде перевантажено під час проведення дослідження.

Лічильник адреси реалізовано на чотирьох синхронних лічильниках K555IE10. Лічильники підключені послідовно таким чином, що максимальне записане число становить 8192 – рівно стільки, скільки комірок в пам'яті. Подаючи на вхід частоту від генератора 10 МГц, цей лічильник буде звертатися до кожної комірки пам'яті від першої до

останньої і цим самим дасть змогу записати в неї всі отримані дані. Після заповнення всіх комірок лічильника останній імпульс буде обнуляти стан лічильника адреси. Важливо те, що лічильник адреси синхронний, тому код на виході всіх чотирьох лічильників буде з'являтися одночасно, що значною мірою збільшує надійність порівняно з несинхронними лічильниками, в яких код на виході міг бути не одночасним і отримані дані могли бути записані не в ту комірку пам'яті.

Генератор тактової частоти зібраний на логічній мікросхемі TM2. ця мікросхема має в одному корпусі 2 D-тригера. В генераторі використано кварцовий резонатор 10 МГц і працює на першій гармоніці. Даний генератор застосовується лише для запису інформації в пам'ять. Для зчитування даних з пам'яті використовується частота з комп'ютерного порту. Частота зчитування близько 1 мс, що є на 4 порядки нижчою за частоту запису. Саме тому пряме зчитування даних неможливе.

В установці застосована пам'ять HM65764. Вона відноситься до високошвидкісної пам'яті типу CMOS. Максимальний об'єм пам'яті 8192×8 бітів.

Система контролю призначення для контролю процесу запису та зчитування інформації з лічильника в пам'ять, а з пам'яті в комп'ютер. На вхід системи подається сигнал старту лазера і система подає сигнали обнуління всіх мікросхем і запускає лічильник адреси. Одночасно із запуском лічильника адреси на комп'ютер подається стартовий сигнал. Цей сигнал через паралельний порт сприймається програмою зняття та обробки даних і в комп'ютері запускається таймер очікування. Таймер чекає 819,2 мкс, саме такий час потрібний для заповнення всіх комірок пам'яті. По завершенні запису лічильник адреси обнуляється останнім розрядом і готовий до нового процесу перебору адресів, на цей час вже з тактовою частотою від комп'ютера. Час зчитування близько 81,92 мс. Комп'ютер записує зчитані дані на електронний диск і по завершенні читання очікує нового сигналу старту. Після проведення 10 вимірювань дані додаються і з електронного диска записуються в файл. Під час запису в файл комп'ютер додає інформацію про час дослідження та додає два кути положення телескопа.

Враховуючи максимальний об'єм пам'яті в 8192 комірки, ми теоретично можемо зондувати до 122880 м, що є далеко за межами атмосфери.

Ще система контролю перемикає режими роботи мікросхеми з читання на запис і навпаки, перемикає тактову частоту під час запису на тактову частоту генератора, а під час зчитування на тактову частоту від комп'ютера.

В дослідній установці застосовується лазер LOTIS ТП з довжиною хвилі випромінювання – 532 нм, енергією випромінювання – до 10 мДж і тривалістю випромінювання – 65 пс.

Лазер має функцію зовнішнього запуску і запускається оптопарою від модулятора. Коли отвір знаходиться між фотодіодом та фототранзистором, лазер запускається. Дзеркало обертається кроковим двигуном і у випадку неспівпадання променя і отвору достатньо змінити фазу обертання двигуна ручкою змінного резистора і промінь буде потрапляти прямо в отвір.

Висновки. В результаті проведення аналізу засобів дистанційного зондування атмосфери синтезовано функціональну схему лідару для отримання експериментальних даних про концентрацію домішок в атмосфері. Проведено апаратну та програмну реалізацію лідарної установки для панорамного зондування атмосфери сигналом з фіксованою частотою. Синтезований лідар є складовою частиною супутникової лазерної локаційної станції Київ-Голосієво. Розрізнявальна здатність лідару становить 0,1 мкс або 15 метрів, при цьому зондування потенційно може проводитися для всього масиву точок напівкулі радіусом 122,88 км з кроком 1 кутова секунда по двох координатах і кроком 15 метрів по лінійній координаті. Загальна кількість вибірових значень при цьому становить $8\,192 \times 360 \times 90 = 265\,420\,800$. Такий об'єм інформації складно опрацьовувати навіть за допомогою сучасної обчислювальної техніки, тому для вирішення практичних завдань звужують діапазон значень по всіх координатах. Дана установка призначена для визначення розподілу в атмосфері хмар з різною концентрацією домішок вздовж променя зондування і може використовуватися, наприклад, для екологічного моніторингу або дослідження метеорологічного стану атмосфери.

Список літератури

1. Костко О. Лазер исследует атмосферу. *Наука и жизнь*. 2002. № 12. С. 47–54.
2. Лазерный контроль атмосферы. Под ред. Э. Д. Хинкли. М.: Мир, 1979. 416 с.
3. Зуев В. Е., Зуев В. В. Дистанционное оптическое зондирование атмосферы. СПб.: Гидрометеиздат, 1992. 232 с.
4. Козинцев В. И., Орлов В. М., Белов М. Л. и др. Оптико-электронные системы экологического мониторинга природной среды.: учеб. пособие для вузов. Под ред. В. Н. Рождествина. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002. 528 с.
5. Матвиенко Г. Г., Банах В. А., Бобровников С. М. и др. Развитие технологий лазерного зондирования атмосферы. *Оптика атмосферы и океана*. 2009. 22, № 10. С. 915–929.
6. Соломатин В. А. Методические указания к выполнению расчетных заданий по курсу «Лидары и сканеры»: учебное пособие. М.: Изд-во МИИГАиК, 2015. 23 с.
7. Веселовский И. А. Дистанционная лазерная диагностика аэрозольных и газовых составляющих атмосферы методами рамановского и упругого рассеяния: дис. доктора физ.-мат. наук: М., 2005. 384 с.
8. Бурков В. Д., Перминов С. В., Щукин Д. Г., Шалаев В. С. Лидарные методы контроля воздушного бассейна крупного промышленного центра в условиях чрезвычайной ситуации. *Лесной вестник*. 2013. № 7. С. 46–51.
9. Kirchner G., Koidl F., Kucharski D. Graz kHz SLR LIDAR: First results. *Proceedings of the 16th International Workshop on Laser Ranging*.
10. Bolotina, O. V., Hluschenko, Yu. M., Medvedsky, M. M. et al. Satellite laser ranging station 'Golosiiv-Kiev'. Technical characteristics and results of observations of 2001. *Kinematics and Physics of Celestial Bodies*, 2001, 17 (6).
11. Medvedsky, M. M., Hluschenko, Yu. M., Aribjanov, M. T. Lidar system on Kiev SLR 1824. *Proceedings of the 20th International Workshop on Laser Ranging "The Path toward the Next Generation Laser Ranging Network"*. Potsdam, Germany, 2016.
12. Medvedsky, M. M. New external calibration target on 1824. *Proceedings of the 20th International Workshop on Laser Ranging "The*

Path toward the Next Generation Laser Ranging Network". Potsdam, Germany, 2016.

References

1. Kostko, O. (2002) Laser exploring the atmosphere, *Nauka i zhizn'*, 12, pp. 47–54 [in Russian].
2. Hinkli, E. D. (ed.) (1979) Laser monitoring of the atmosphere. Moscow: Mir, p. 416 [in Russian].
3. Zuev, V. E. (1992) Remote optical sensing of the atmosphere. Edited by V. E. Zuev and V. V. Zuev. St. Petersburg: Gidrometeoizdat [in Russian].
4. Kozincev, V. I., Orlov, V. M. and Belov, M. L. (2002) Opto-electronic systems of ecological monitoring of the natural environment: a training manual for universities. Edited by V. N. Rozhdestvin. Moscow: Izd-vo MGTU im. N. E. Bauman, p. 528 [in Russian].
5. Matvienko, G. G., Banah, V. A. and Bobrovnikov, S. M. (2009) The technological development of laser sensing of the atmosphere. *Optika atmosfery i okeana*, 10, pp. 915–929 [in Russian].
6. Solomatin, V. A. (2015) Methodical instructions to performance of settlement and assignments for the course "Lidar and scanners". Tutorial. Moscow: Izd-vo MIIGAiK, p. 23 [in Russian].
7. Veselovskii, I. A. (2005) Remote laser diagnostics of atmospheric aerosol and gas constituents by the methods of Raman and elastic scattering: the thesis for doctor in physical and mathematical sciences, p. 384 [in Russian].
8. Burkov, V. D., Perminov, S. V., Shchukin, D. G. and Shalaev, V. S. (2013) Lidar methods of control of air pool in a large industrial center in an emergency situation. *Lesnoj vestnik*, 7, pp. 46–51 [in Russian].
9. Kirchner, G., Koidl, F. and Kucharski, D. (no date) Graz kHz SLR LIDAR: First Results. *Proceedings of the 16th International Workshop on Laser Ranging*.
10. Bolotina, O. V., Hluschenko, Y. M., Medvedsky, M. M. et al. (2001) Satellite laser ranging station "Golosiiv-Kiev". Technical characteristics and results of observations of 2001. *Kinematics and Physics of Celestial Bodies*, 17 (6).
11. Medvedsky, M. M., Hluschenko, Y. M. and Aribjanov, M. T. (2016) Lidar system on Kiev SLR 1824. *Proceedings of the 20th International Workshop on Laser Ranging 'The Path toward the Next Generation Laser Ranging Network'*. Potsdam, Germany.
12. Medvedsky, M. M. (2016) New external calibration target on 1824. *Proceedings of the 20th International Workshop on Laser Ranging 'The Path toward the Next Generation Laser Ranging Network'*. Potsdam, Germany.

M. M. Medvedsky¹, Ph.D.,

M. T. Aribzhanov², student,

O. S. Havrysh², Ph.D., associate professor

¹ Main astronomical observatory of National academy of sciences of Ukraine
Akademika Zabolotnoho, 27, Kyiv, 03143, Ukraine

² Cherkasy State Technological University
Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine

LIDAR COMPLEX FOR MONITORING OF ATMOSPHERE METEOROLOGICAL CONDITION

To study the atmospheric parameters using remote sensing methods using LIDAR. It provides prompt results, their high reliability and precision. The principle of LIDAR is based on laser back scattering effect of aerosols in the atmosphere and the registration number of the reflected photons using photomultiplier tube and telescope.

The aim is to develop a functional diagram of LIDAR industry and its hardware and software implementation. LIDAR remote study the impurity concentration in the atmosphere is part of the

satellite laser ranging station Kyiv-Golosiiv to impose certain technical limitations but also facilitates its implementation. The source of radiation is a laser with a wavelength of 532 nm radiation energy - up to 10 mJ and the pulse duration of radiation - 65 ps. To use a telescope to transmit and receive signal modulator is used, which is a rotating mirror disk with a hole. The synthesized panoramic setting allows sensing of the atmosphere at a resolution of 0.1 microseconds or 15 meters for elevation from 20 to 80 degrees.

This setting can be used for the distribution of the impurity concentration in the atmosphere for the purpose of environmental monitoring or to determine the meteorological parameters of the atmosphere.

Keywords: *lidar, laser, remote sensing, the concentration of pollutants in the atmosphere.*

*Рецензенти: Ю. Г. Лега, д.т.н., професор,
В. В. Палагін, д.т.н., професор*