



УДК 621. 317.39

# ПРИСТРІЙ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО КОНТРОЛЮ СКЛАДОВИХ СОНЯЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

## DEVICE FOR AUTOMATED CONTROL OF SOLAR RADIATION COMPONENTS

Сандлер А. К.<sup>1</sup>, Опришко М. О.<sup>2</sup>  
Sandler A.<sup>1</sup> Opryshko M.<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>National University "Odesa Maritime Academy", Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0709-0542><sup>1</sup>; <https://orcid.org/0000-0002-9385-8676><sup>2</sup>

E-mail: [albertsand4@gmail.com](mailto:albertsand4@gmail.com)<sup>1</sup>, [marinaoprishko67@gmail.com](mailto:marinaoprishko67@gmail.com)<sup>2</sup>

Copyright © 2024 by author and the journal "Automation of technological and business – processes".

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>



DOI:

**Анотація.** Сільськогосподарській практиці при рішенні завдання виявлення кліматично обумовленої максимально можливої біологічної продуктивності в основному аналізуються два метеофактора – тепловий і водний режими повітря й ґрунту. В той же час, тоді як основний енергетичний фактор у діяльності рослин – сонячної радіації – залишається таким, що мало враховується, особливо в оперативній роботі, хоча в підручниках і доповідях з агрометеорології усе більше відзначається її важливе значення, засноване на відомостях з фізіології рослин. Не враховується також, що в даний рік (місяць, декада, день) у даному регіоні тепловий режим може обумовлюватися адвективним фактором, незалежно від приходу сонячної радіації у цей період. Не завжди враховується також, що реальне надходження променистої енергії до рослин посіву визначається не тільки надходженням фотосинтетично активної радіації, але й архітектурою самого фітоценозу. Часто посилаються на те, що існують труднощі виміру СР, відсутня або важкодоступна вимірювальна апаратура. Дійсно, лише на невеликій кількості нині існуючих метеостанцій, ведучих спостереження, вимірюється сумарна сонячна радіація і її добові суми. Науково-технічне завдання, яке створено запитом практики, вирішується тим, що пропонується волоконно-оптичний пристрій для вимірювання складових оптичного випромінювання, що складається з джерела випромінювання, фотоприймача, аналого-цифрового перетворювача, мікроконтролера, блоку індикації, приймального та передавального пристроїв. Основна відмінність від найближчого аналога полягає у тому, що пристрій додатково містить волоконно-оптичний датчик вологості та температури з електрооптичним фільтром затвором, а єдине джерело випромінювання та єдиний фотоприймач сполучені з оптичним розгалужувачем та чутливими світловодами, що містять регульовані електрооптичні фільтри-затвори, які керуються мікроконтролером. Застосування волоконно-оптичних технологій у сполученні з планарними дасть змогу у пристрої запропонованої конструкції забезпечити мінімальний вплив неідентичних конструктивних елементів на результати вимірювань; більшу точність вимірювань; компенсацію впливу параметрів навколишнього середовища на вимірювальний канал пристрою; збільшений робочий діапазон вимірювань пристрою.

**Abstract.** In agricultural practice, when solving the problem of identifying the climatically determined maximum possible biological productivity, two meteorological factors are mainly analyzed - the thermal and water regimes of air and soil. At the same time, while the main energy factor in plant activity - solar radiation - remains little taken into account, especially in operational work, although textbooks and aids on agrometeorology increasingly note its important importance, based on information from plant physiology. It is also not taken into account that in a given year (month, decade, day) in a given region the thermal regime may be determined by an advective factor, regardless of the arrival of solar radiation during this period. It is also not always taken into account that the real receipt of radiant energy to crop plants is determined not only by the receipt of photosynthetically active radiation, but also by the architecture of the phytocenosis itself. It is often mentioned that there are difficulties in measuring SR, there is no or difficult-to-reach measuring equipment. Indeed, only a small number of currently existing weather stations conducting observations measure the total solar radiation and its daily sums. The scientific and technical task, which was created by the request of practice, is solved by the fact that a fiber-optic device for measuring the components of optical radiation is proposed, consisting of a radiation source, a photodetector, an analog-to-digital converter, a microcontroller, an indication unit, receiving and transmitting devices. The main difference from the closest analogue is that the device additionally contains



*a fiber-optic humidity and temperature sensor with an electro-optical filter-shutter, and a single radiation source and a single photodetector are connected to an optical splitter and sensitive light guides containing adjustable electro-optical filter-shutters controlled by a microcontroller. The use of fiber-optic technologies in combination with planar ones will allow the device of the proposed design to provide minimal influence of non-identical structural elements on the measurement results; greater measurement accuracy; compensation of the influence of environmental parameters on the measuring channel of the device; increased operating range of device measurements.*

**Keywords:** solar radiation, radiation, light guide

**Ключові слова:** сонячна радіація, випромінювання, світловод

**Вступ.** Як відомо, вплив сонячної радіації (СР), що поглинається рослинами, досить різноманітний, а саме участь у різних високо- і низькоенергетичних процесах: фотосинтез, подих, поглинання вологи й транспірація, теплообмін із середовищем, фотоморфогенез тощо. Формування біомаси (БМ), її кількість, якості, енергоємність обумовлені, насамперед, сукупністю численних високоенергетичних процесів фотосинтетичної діяльності за рахунок вступу СР в діапазоні довжин хвиль випромінювання 380 ... 710 нм. При цьому лише частина поглиненої енергії в ході газообміну запасається в БМ, тоді як інша, значно більша, витрачається на транспірацію, теплообмін тощо. Формування БМ важливих органів рослин обумовлене також сукупністю численних низькоенергетичних процесів фоторегуляторної й фототропічної діяльності, також ініціюється СР в діапазоні 380 ... 750 нм. До них ставляться фотоперіодизми, фототропізми, фотоактивація й фотореактивація, індукція "біологічних годинників", фотоморфогенез у цілому.

Різноманіття параметрів СР, що активно впливає на фітоценози, визначає її різноманітну фізіологічну значимість, у тому числі для створення оптимальної для самих рослин біомаси органів.

Однак, у сільськогосподарській практиці при рішенні завдання виявлення кліматично обумовленої максимально можливої біологічної продуктивності (ММБП) в основному аналізуються два метеофактора – тепловий і водний режими повітря й ґрунту. В той же час, тоді як основний енергетичний фактор у діяльності рослин – СР – залишається таким, що мало враховується, особливо в оперативній роботі, хоча в підручниках і допомогах з агрометеорології усе більше відзначається її важливе значення, засноване на відомостях з фізіології рослин. На жаль, найчастіше науковці схилиються до тези, що СР не є такою, що лімітують фотосинтез і ріст фактором, змінюється у малому ступені. А якщо вона й змінюється, то це адекватно проявляється в мінливості термічного режиму, і що надходження СР до рослин – фактор, що не піддається регуляції.

Необґрунтованість таких позицій полягає в тому, що під "стабільністю" надходження СР у тому або іншому регіоні мається на увазі відсутність багаторічного тренда; однак при цьому ігнорується реальна мінливість приходу СР в окремі роки, у період вегетації в даному році.

Не враховується також, що в даний рік (місяць, декаду, день) у даному регіоні тепловий режим може обумовлюватися адвективним фактором, незалежно від приходу СР у цей період. Не завжди враховується також, що реальне надходження променистої енергії до рослин посіву визначається не тільки надходженням фотосинтетично активної радіації, але й архітектурою самого фітоценозу. Часто посилюються на те, що існують труднощі виміру СР, відсутня або важкодоступна вимірювальна апаратура. Дійсно, лише на невеликій кількості нині існуючих метеостанцій, ведучих спостереження, вимірюється сумарна СР і її добові суми [1].

**Аналіз літературних даних і постановка проблеми.** Уявляється доцільним для розв'язання проблеми, яка утворилася, застосування досвіду геліоенергетичної галузі. Для ефективного використання обладнання застосовують мапи ресурсів сонячної енергії (рис. 1) [2].

Ці мапи часто використовують для визначення потенціалу генерації сонячної енергії для конкретної території. Такі мапи карти створюються на основі супутникових знімків і інтерполяції даних наземних метеорологічних станцій. Однак станції не рідко досить віддалені одна від другої, а їх дані не завжди точні. Дані на цих мапах найчастіше не досить високої якості й мають занадто великий масштаб для того, щоб служити надійною опорою для прийняття рішень щодо обрання необхідного встаткування й вкладенню інвестицій. Через відмінності в мікрокліматі й топографії місцевості помилка у виборі місця розташування електростанції всього лише на кілька сотень кілометрів може привести до істотного зменшення можливої кількості сонячних днів у році.

Звичайно спочатку вибирають потенційне місце розташування сонячної станції на підставі мап ресурсів сонячної енергії й інших важливих критеріїв. Після цього перевіряють правильність вибору за допомогою точних і надійних вимірювань потоку енергії сонячного випромінювання безпосередньо на місці протягом як мінімум цілого року. Частота вимірювань повинна забезпечувати повне розуміння змін необхідних параметрів протягом кожного дня, а результати повинні бути вірогідними.

Відомі вимірювачі складових оптичного випромінювання, в умовах впливу реальних експлуатаційних чинників, демонструють значне відставання якості вимірювань від лабораторних аналогів.

З оглядом на існуюче становище уявляється актуальним завдання розробки мобільного засобу помірної вартості, який забезпечить підвищення вірогідності процесів вимірювання складових оптичного випромінювання у достатньому діапазоні за рахунок використання принципів часткової інваріантності до зовнішніх неконтрольованих впливів на вимірювання.

Для пошуку шляхів поліпшення метрологічних характеристик вимірювальних пристроїв проаналізовані конструкції найпоширеніших вимірювальних перетворювачів.

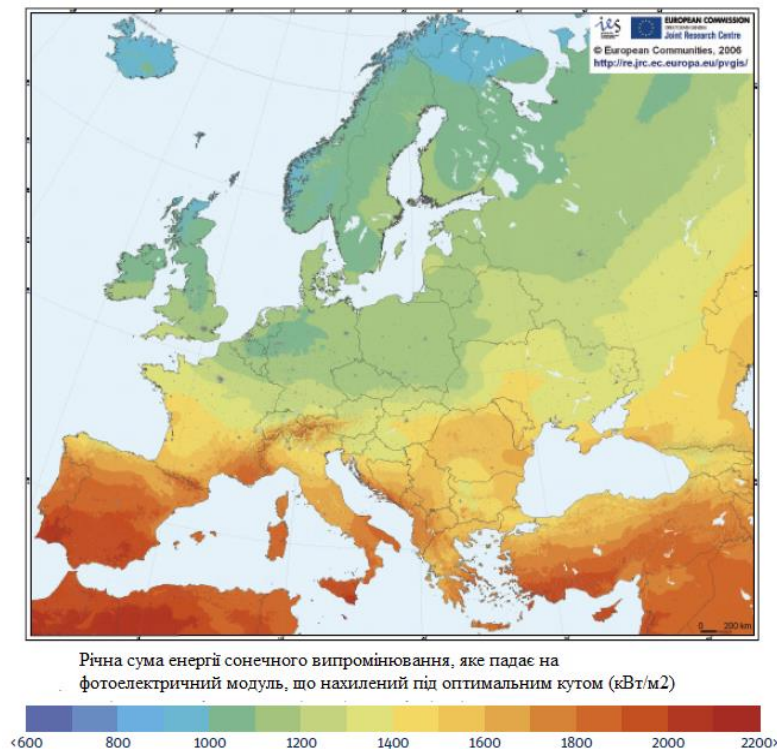


Рис. 1. Мапа ресурсів сонячної енергії з позначенням річної кількості доступної сонячної енергії

<https://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis>

Fig. 1. Map of solar energy resources with indication of the annual amount of available solar energy

<https://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis>

Поширеним є пристрій для вимірювання електромагнітного випромінювання, що містить блок фотоприймачів, з'єднаний із приймальним пристроєм, виходи якого підключені до відповідних входів аналого-цифрового перетворювача, мікроконтролер, входи якого пов'язані з відповідними виходами аналого-цифрового перетворювача й блок індикації, входи якого підключені до відповідних виходів мікроконтролера [3].

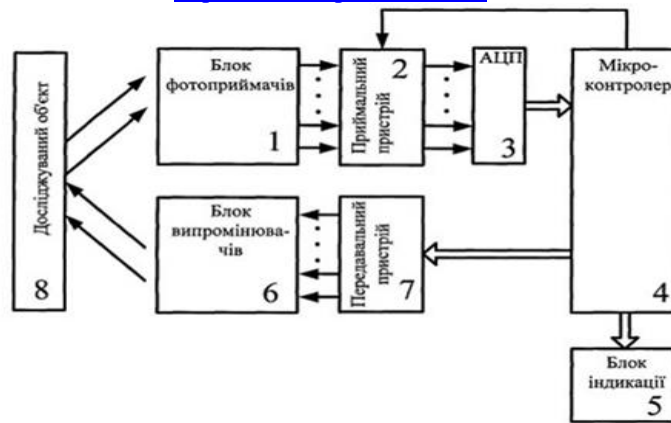
Робота даного пристрою заснована на дослідженні відбитого від досліджуваного об'єкта сонячного світла, інтенсивність якого може мінятися від виміру до виміру, що обумовлює ряд недоліків. А саме – перед кожним виміром необхідне калібрування приладу, що створює незручності при експлуатації. Не передбачена можливість опромінення об'єкта вбудованими джерелами випромінювання, що унеможливує проведення досліджень об'єкта у вузькій смузі частот випромінювання та в умовах відсутності сонячного світла. Це суттєво обмежує функціональні можливості пристрою.

Найбільш досконалим за технічною сутністю та результатом, що досягається, є пристрій для вимірювання складових оптичного випромінювання, що містить блок фотоприймачів, з'єднаний із приймальним пристроєм, виходи якого підключені до відповідних входів аналого-цифрового перетворювача, мікроконтролер, входи якого пов'язані з відповідними виходами аналого-цифрового перетворювача, блок індикації, блок джерел випромінювання та передавальний пристрій, входи блока випромінювачів з'єднані з відповідними виходами передавального пристрою, а входи останнього підключені до відповідних виходів мікроконтролера, причому керуючий вихід мікроконтролера з'єднаний з керуючим входом приймального пристрою (рис. 2) [4].

Застосування випромінювачів та фотоприймачів, згрупованих у блоки, обумовлює такі недоліки пристрою, що впливають на його характеристики, а саме:

- неідентичність випромінювачів та фотоприймачів у блоках створює додаткові похибки вимірювань;
- різні ступені часової деградації властивостей випромінювачів та фотоприймачів у блоках підсилює похибки вимірювань;
- відсутня можливість врахування температури та вологості навколишнього середовища;
- складність конструкції;
- необхідність постійних заходів щодо термокомпенсації коливань температури зовнішнього середовища.

**Мета і завдання дослідження.** Мета дослідження – створення пристрою для вимірювання складових оптичного випромінювання у якому застосовується мінімальна кількість джерел випромінювання та фотоприймачів, компенсована залежність від стану зовнішнього середовища, та одночасно збережені високий рівень чутливості та швидкодія пристроїв відомих типів.



1 – блок фотоприймачів, 2 – приймальний пристрій, 3 – аналого-цифровий перетворювач, 4 – мікроконтролер, 5 – блок індикації, 6 – блок випромінювачів, 7 – передавальний пристрій, 8 – досліджуваний об'єкт

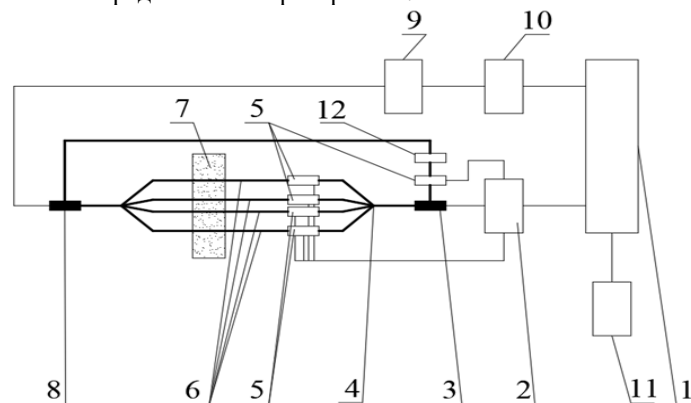
**Рис. 2. Функціональна схема пристрою для вимірювання складових оптичного випромінювання**  
**Fig. 2. Functional scheme of a device for measuring components of optical radiation**

Науково-технічне завдання, яке створено запитом практики, вирішується тим, що пропонується волоконно-оптичний пристрій для вимірювання складових оптичного випромінювання, що складається з джерела випромінювання, фотоприймача, аналого-цифрового перетворювача, мікроконтролера, блоку індикації, приймального та передавального пристроїв.

Основна відмінність від найближчого аналога полягає у тому, що пристрій додатково містить волоконно-оптичний датчик вологості та температури з електрооптичним фільтром затвором, а єдине джерело випромінювання та єдиний фотоприймач сполучені з оптичним розгалужувачем та чутливими світловодами, що містять регульовані електрооптичні фільтри-затвори, які керуються мікроконтролером.

**Результати досліджень.** Аналіз існуючих конструкцій пристроїв для вимірювання складових оптичного випромінювання показав що резерви вдосконалення можуть бути знайдені у більш широкій застосуванні волоконно-оптичних та оптичних планарних технологій у конструкції пристрою [5, 6].

Суть конструкції запропонованого пристрою пояснюється кресленням (рис. 3), де зображений мікроконтролер 1, сполучений з передавальним пристроєм 2.



1 – мікроконтролер; 2 – передавальний пристрій; 3 – джерело випромінювання; 4 – оптичний розгалужувач; 5 – електрооптичний фільтр-затвор; 6 – чутливі світловоди; 7 – досліджуваний об'єкт; 8 – фотоприймач; 9 – приймальний пристрій; 10 – аналого-цифровий перетворювач; 11 – блок індикації; 12 – волоконно-оптичний датчик вологості та температури

**Рис. 3. Пристрій для вимірювання складових оптичного випромінювання**  
**Fig. 3. Device for measuring components of optical radiation**

Від передавального пристрою живлення з відповідними параметрами надходить до джерела випромінювання 3 та електрооптичних фільтрів-затворів 5 з ніобату літію [7]. Модульоване випромінювання від джерела випромінювання надходить у заданій послідовності через оптичний розгалужувач 4 до електрооптичних фільтрів-затворів і далі до чутливих світловодів 6 та волоконно-оптичного датчику вологості та температури 12 [8]. Чутливі світловоди та електрооптичні фільтри-затвори виконані за планарною технологією. Після тунельної взаємодії випромінювання з індивідуальною довжиною хвилі для кожного чутливого світловоду з сонячним випромінюванням 7 воно потрапляє до фотоприймача 8 [9]. Фотоприймач сполучений з приймальним пристроєм 9, аналого-цифровим перетворювачем 10, мікроконтролером 1 та блоком індикації 11.

Експериментальні дослідження довели що, для забезпечення більшої інваріантності до дестабілізуючих факторів, чутливі світловоди має сенс виконувати з сапфірового (штучного) скла [10].

Для здійснення винаходу застосовано комбінацію волоконних світловодів та оптичних елементів.



У статичному режимі (калібровка) мікроконтролер подає сигнал на передавальний пристрій. Цей сигнал перетворюється у передавальному пристрої у сигнали керування джерелом випромінювання та електрооптичними фільтрами-затворами. У цьому режимі відкритим є тільки електрооптичний фільтр-затвор на лінії волоконно-оптичного датчика вологості та температури. З датчика вологості та температури випромінювання надходить до фотоприймача, де перетворюється в електричний сигнал. Сигнал через приймальний пристрій та аналогово-цифровий перетворювач надходить до мікроконтролеру, де зберігається як відповідна поправка до результатів подальших вимірювань. На наступному етапі відбувається тонке калібрування довжини хвилі електрооптичних фільтрів-затворів на лініях чутливих світловодів.

У динамічному режимі (вимірювання) мікроконтролер подає сигнали на замикання електрооптичного фільтру-затвору на лінії волоконно-оптичного датчика вологості та температури, на джерело випромінювання та на почергове відкриття електрооптичних фільтрів-затворів на лініях чутливих світловодів. При проходженні світла з відповідною довжиною хвилі чутливим світловодом відбувається тунелювання частки світла у досліджуваній об'єкт. Інтенсивність світла, яке пройшло через фотоприймач, та як електричний сигнал, через приймальний пристрій та аналогово-цифровий перетворювач реєструється у мікроконтролері та відбивається на блоці індикації.

Другий та наступний цикли відрізняються тільки тим, що в кожному з них відкривається відповідний електрооптичний фільтр-затвор на лінії відповідного чутливого світловоду.

Результати виміру кожного циклу обробляються мікроконтролером та виводяться на блок індикації в узагальненій формі. За результатами виміру RGB-складових оптичного випромінювання, що залишилося після контакту з досліджуванним сонячним випромінюванням, складається цифровий образ, що порівнюється з образами, що зберігаються в пам'яті пристрою.

**Висновки і перспективи подальших досліджень.** Оскільки Сонце виявляє домінуючий значний довгостроковий зовнішній вплив на агротехнічні культури, точне, вірогідне і стабільне вимірювання змін сонячної радіації має важливе значення для атрибуції зміни клімату і врожайності й надає унікальний інструмент для дослідження чутливості клімату за допомогою теоретичних і емпіричних моделей. Застосування надійних вимірювальних пристроїв надасть можливість однозначно кількісно визначити інструментальні ефекти і вилучити з бази даних по радіації, стане можливим створення записів по СР з точністю й правильністю, необхідними для цих завдань [11].

Застосування волоконно-оптичних технологій у сполученні з планарними дасть змогу у пристрої запропонованої конструкції забезпечити мінімальний вплив неідентичних конструктивних елементів на результати вимірювань; більшу точність вимірювань; компенсацію впливу параметрів навколишнього середовища на вимірювальний канал пристрою; збільшений робочий діапазон вимірювань пристрою.

Впровадження до складу агротехнічних інформаційно-вимірювальних систем запропонованого пристрою дозволить адекватно й вірогідно оцінювати кількісні параметри СР та створювати умови для створення потужної розгалуженої мережі на основі волоконно-оптичних технологій. Використання такої мережі дозволить суттєво підвищити безпеки під час перевантаження та удосконалити технології транспортування зернових культур [12, 13].

Запропонований підхід, окрім можливості застосування не тільки у загальнотехнічному сенсі, може сприяти й розвитку вузькопрофесійних галузей застосування нових аграрних технологій. А також сприяти більш ефективній співпраці стейкхолдерів та закладів вищої освіти агротехнічного напрямку [14].

#### Список використаних джерел

1. Castillo C. P., e Silva F. B., Lavallo C. An assessment of the regional potential for solar power generation // *EnergyPolicy*. – 2016. – V. 88. – P. 86 – 99. doi: 10.1016/j.enpol.2015.10.004.
2. Патент України № 4675. МПК G01J1/44 G01J1/42 Пристрій для вимірювання електромагнітного випромінювання. – 20040806569; – заявл. 06.08.2004. – опубл. 17.01.2005, бюл. № 1/2005. – 3 с.
3. Патент України № 57506. МПК 2011.01) G01J 1/44 (2011.01) A61B 5/00. Пристрій для вимірювання складових оптичного випромінювання / Ю. О. Мягченко, П. С. Смертенко, В. Г. Степанов, В. В. Точин; заявники та володарі патенту Мягченко, Ю. О., Смертенко, П.С., Степанов, В. Г., Точин, В. В. – u201013426; – заявл. 11.11.2010. – опубл. 25.02.2011, бюл. № 4. – 4 с.
4. Сандлер, А. К. Метод підвищення ефективності діагностування технічного стану суднових газотурбінних установок на основі волоконно-оптичних технологій: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.20 / Київський університет інфраструктури та технологій. – К., 2021. – 20 с.
5. Sandler, A. K., Karpilov, A. Yu. Primenenie volokonno-opticheskikh datchikov v sistemakh avtomaticheskogo diahnostirovaniya sudovykh hazoturbinnnykh ustanovok // *Автоматизація технологічних і бізнес-процесів*. – 2019. – Т. 11. – № 2. – Одеса: ОНАХТ. – С. 46 – 52. DOI <https://doi.org/10.15673/atbp.v11i2.1374>.
6. Kuz'minov, Yu. S. Niobat i tantalat litiya. – М.: Наука, 1975. – 224 с.
7. Патент України на винахід № 108519, МПК (2015.01) G02B 6/00 G01N 19/10 G01K 5/10. Волоконно-оптичний датчик клімат-контролю для вимірювання вологості і температури / А. К. Сандлер, Ю. М. Цюпко, О. А. Сандлер, К. Ю. Цюпко; заявники та володарі патенту Сандлер, А. К., Цюпко, Ю. М., Сандлер, О. А., Цюпко,



- К. Ю. – № а201306835; – заявл. 31.05.2013; опубл. 12.05.2015, бюл. № 9. – 3 с.
8. Snyder, A., Lav, D. *Teoriya opticheskikh volnovodov*. – М.: Радио и связь, 1987. – 656 с.
9. Sandler, A. K. *Chuvstvitel'nyy element volokonno-opticheskogo akselerometra na osnove sapphirevogo stekla // IX mizhnarodna naukovu-metodychna konferentsiya "Sudnova elektroinzheneriya, elektronika i avtomatika", 05-06 lystopada 2019 r.: materialy konferentsii*. – Одеса: НУ "ОМА". – 2019. – С. 27 - 33. dx.doi.org/10.31653/2706-7874.
10. Kopp G., Lean J. A new lower value of total solar irradiance: Evidence and climate significance // *Geophysical Research Letters*. – 2011. – V. 37. doi: 10.1029/2010GL045777.
11. Сандлер, А. К., Опришко, М. О. Автоматизований засіб підвищення безпеки під час перевантаження зернових культур на суднах // *Автоматизація технологічних і бізнес-процесів*. – 2021. – Т. 13. – №. 1. – Одеса: ОНАХТ. – С. 50 - 54. DOI <https://doi.org/10.15673/atbp.v13i1.2000>.
12. Сандлер, А. К., Омельченко, Т. Ю. Удосконалення технології перевезення зернових культур на суднах // VI International Scientific and Theoretical Conference "The process and dynamics of the scientific path" 05.07.2024 Athens, Hellenic Republic. UKRLOGOS Group LLC., 2024. – P. 40 - 42. DOI: <https://doi.org/10.36074/scientia-05.07.2024>.
13. Бабаченко, М. В., Сандлер, А. К. Підвищення ефективності взаємодії стейкхолдерів та морських закладів вищої освіти // *Education and science of today: intersectoral issues and development of sciences: Collection of scientific papers "ΛΟΓΟΣ" with Proceedings of the VI International Scientific and Practical Conference, Cambridge, March 29, 2024*. Cambridge-Vinnitsia: P.C. Publishing House & UKRLOGOS Group LLC. – 2024. – P. 82 - 84. DOI 10.36074/logos-29.03.2024.019.

### References

1. Castillo C. P., e Silva F. B., Lavallo C. An assessment of the regional potential for solar power generation // *EnergyPolicy*. 2016. V. 88. P. 86 – 99. doi: 10.1016/j.enpol.2015.10.004.
2. Patent Ukrainy № 4675. МПК G01J1/44 G01J1/42 Prystriy dlya vymiryuvannya elektromahnitnoho vyprominyuvannya. – 20040806569; – заявл. 06.08.2004. – опубл. 17.01.2005, бул. № 1/2005. – 3 p.
3. Patent Ukrainy № 57506. МПК 2011.01) G01J 1/44 (2011.01) A61B 5/00. Prystriy dlya vymiryuvannya skladovykh optychnoho vyprominyuvannya / YU. O. Myahchenko, P. S. Smertenko, V. H. Stepanov, V. V. Tochyn; заявник та володар патенту Myahchenko, YU. O., Smertenko, P.S., Stepanov, V. H., Tochyn, V. V. – u201013426; – заявл. 11.11.2010. – опубл. 25.02.2011, бул. № 4. – 4 p.
4. Sandler, A. K. *Metod pidvyshchennya efektyvnosti diahnostuvannya tekhnichnoho stanu sudnovykh hazoturbinnykh ustanovok na osnovi volokonno-optychnykh tekhnolohiy: avtoref. dys. ... kand. tekhn. nauk: 05.22.20 / Kyiv's'kyi universytet infrastruktury ta tekhnolohiy*. – К., 2021. – 20 p.
5. Sandler, A. K., Karpilov, A. YU. *Prymenenye volokonno-optycheskykh datchykov v systemakh avtomatyzatsiy dyahnostyrovannya sudovykh hazoturbinnykh ustanovok // Avtomatyzatsiya tekhnolohichnykh i biznes-protseviv*. – 2019. – Т. 11. – № 2. – Одеса: ОНАХТ. – P. 46 – 52. DOI <https://doi.org/10.15673/atbp.v11i2.1374>.
6. Kuz'mynov, YU. S. *Nyobat y tantalat lytyya*. – М.: Nauka, 1975. – 224 p.
7. Patent Ukrainy na vynakhid № 108519, МПК (2015.01) G02B 6/00 G01N 19/10 G01K 5/10. Volokonno-optychnyy datchyk klimat-kontrolyu dlya vymiryuvannya volohosti i temperatury / A. K. Sandler, YU. M. Tsyupko, O. A. Sandler, K. YU. Tsyupko; заявник та володар патенту Sandler, A. K., Tsyupko, YU. M., Sandler, O. A., Tsyupko, K. YU. – № а201306835; – заявл. 31.05.2013; опубл. 12.05.2015, бул. № 9. – 3 p.
8. Snyder, A., Lav, D. *Teoriya optycheskykh volnovodov*. – М.: Radio y svyaz', 1987. – 656 p.
9. Sandler, A. K. *Chuvstvitel'nyy element volokonno-optycheskogo akselerometra na osnove sapphirevogo stekla // IX mizhnarodna naukovu-metodychna konferentsiya "Sudnova elektroinzheneriya, elektronika i avto-matyka", 05-06 lystopada 2019 r.: materialy konferentsiyi*. – Одеса: НУ "ОМА". – 2019. – P. 27 - 33. dx.doi.org/10.31653/2706-7874.
10. Kopp G., Lean J. A new lower value of total solar irradiance: Evidence and climate significance // *Geophysical Research Letters*. – 2011. – V. 37. doi: 10.1029/2010GL045777.
11. Sandler, A. K., Opryshko, M. O. *Avtomatyzovanyy zasib pidvyshchennya bezpeky pid chas perevantazhennya zerno-vykh kul'tur na sudnakh // Avtomatyzatsiya tekhnolohichnykh i biznes-protseviv*. – 2021. – Т. 13. – №. 1. – Одеса: ОНАХТ. – P. 50 - 54. DOI <https://doi.org/10.15673/atbp.v13i1.2000>.
12. Sandler, A. K., Omel'chenko, T. YU. *Udoskonalennya tekhnolohiyi perevezennya zernovykh kul'tur na sudnakh // VI International Scientific and Theoretical Conference "The process and dynamics of the scientific path" 05.07.2024 Athens, Hellenic Republic. UKRLOGOS Group LLC., 2024. – R. 40 - 42. DOI: https://doi.org/10.36074/scientia-05.07.2024*.
13. Babachenko, M. V., Sandler, A. K. *Pidvyshchennya efektyvnosti vzayemodiyi steykholderiv ta mors'kykh zakladiv vyshchoyi osvity // Education and science of today: intersectoral issues and development of sciences: Collection of scientific papers "ΛÓHOS" with Proceedings of the VI International Scientific and Practical Conference, Cambridge, March 29, 2024*. Cambridge-Vinnitsia: P.C. Publishing House & UKRLOGOS Group LLC. – 2024. – R. 82 - 84. DOI 10.36074/logos-29.03.2024.019.