

УДК 621.317:635.017

О. В. ВОВНА, І. С. ЛАКТИОНОВ, А. А. ЗОРІ**МАКЕТНИЙ ЗРАЗОК КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОГО ВИМІРЮВАЧА ПАРАМЕТРІВ
МІКРОКЛІМАТУ ПРОМИСЛОВИХ ТЕПЛИЦЬ**

У статті шляхом аналізу регламентованих вимог щодо режимів зростання рослин на захищених ґрунтах та існуючих рішень побудови систем автоматичного управління технологічними процесами промислових теплиць обґрунтовано структурну схему комп'ютеризованого вимірювача параметрів мікроклімату теплиць. Розроблено апаратно-програмну реалізацію макетного зразка вимірювача. Проведено лабораторні випробування розробленого засобу вимірювання. Визначено пріоритетні напрямки подальших досліджень вимірювача з метою підвищення ефективності вітчизняних аграрних підприємств із захищеними ґрунтами.

Ключові слова: комп'ютеризований вимірювач, макетний зразок, мікроклімат, теплиця, температура, вологість.

В статье путем анализа регламентированных требований относительно режимов произрастания растений на защищенных почвогрунтах и существующих решений построения систем автоматического управления технологическими процессами промышленных теплиц обоснована структурная схема компьютеризованного измерителя параметров микроклимата теплиц. Разработана аппаратно-програмная реализация макетного образца измерителя. Проведены лабораторные испытания разработанного средства измерения. Определены приоритетные направления дальнейших исследований измерителя с целью повышения эффективности отечественных аграрных предприятий с защищенными почвогрунтами.

Ключевые слова: компьютеризованный измеритель, макетный образец, микроклимат, теплица, температура, влажность.

The deep analysis of the regulated requirements for the plant growth regimes on the protected soils has been carried out in this paper. Also, the construction of the existing automatic control systems of the industrial greenhouses technological process have been analyzed. The block diagram of the greenhouses microclimate parameters computerized meter has been substantiated. The component base of the computerized meter has been defined. The hardware and software component of the computerized meter model sample have been technically implemented. Structural organization of the computerized meter of greenhouse microclimate parameters has been investigated based on study and synthesis of its subsystems functional maintenance. It provides comprehensive moisture, acidity, temperature, CO₂ concentration, electrical conductivity of the irrigation water and etc. measurements with destabilizing effects compensation which allows its operation as a part of the industrial greenhouse automation complex. The network technologies are included in the developed meter. Designed meter has the function of the measured parameters database creating. Laboratory tests of the established measurement mean have been conducted. Priority areas for further meter research have been identified, which will allow to increase the efficiency of Ukrainian agricultural enterprises with protected soils in the future.

Keywords: computerized meter, model sample, microclimate, greenhouse, temperature, moisture.

Вступ. Сільське господарство належить до стратегічних галузей, стан та ефективний розвиток яких безпосередньо впливає на функціонування національної економіки. Однією з ключових проблем агропромислового виробництва України досі є низький ступінь освоєння підприємствами сучасних інноваційних технологій, через що в галузі автоматично унеможливується процес зниження собівартості сільськогосподарської продукції та зростання її якості, які б відповідали міжнародним стандартам. Стратегічним напрямком розвитку аграрного комплексу України є підвищення продуктивності штучних екосистем із захищеними ґрунтами, до яких відносяться промислові тепличні господарства та комплекси. Разом із тим, окрім економічного ефекту від підвищення продуктивності об'єктів агропромислового комплексу із захищеними ґрунтами, необхідно враховувати факт соціального значення даної галузі господарства. Постійна наявність у раціоні працездатного населення та дітей (дитячі садки й школи) високоякісної с/г продукції впроваджує усього календарного року призводить до покращення фізичного та морального стану людей.

Точний і своєчасний комплексний аналіз параметрів мікроклімату теплиць сприяє виробленню наукового підходу щодо обґрунтування ефективних агротехнічних прийомів по догляду за режимами селекції та акліматизації рослин. Одним із можливих шляхів підвищення ефективності тепличних комплексів є впровадження комп'ютеризованих

вимірювачів фізико-хімічних параметрів мікроклімату теплиць, які відповідають сучасним тенденціям розвитку науки і техніки, задля підвищення врожайності українських аграрних підприємств із захищеними ґрунтами.

Локалізація задачі дослідження. На підставі аналізу існуючих статистичних даних щодо показників вирощування культур на закритих ґрунтах встановлено наступний факт: за 2014 р. в Україні було вироблено 482 тис. тонн овочів, з них 114 потужностями с/г виробників та 368 господарствами населення. На 01.01.2015 р. в Україні загальна площа під тепличними комплексами становила – 4,5 тис. га з них 0,4 тис. га припадає на с/г підприємства та 4,1 тис. га на господарства населення [1]. Однак, продуктивність українських тепличних комплексів є недостатньою, а отже продукція вітчизняних виробників не може конкурувати з тією, що виробляється європейськими підприємствами. Підвищення врожайності українських тепличних господарств можна досягти за рахунок впровадження прогресивних комплексів автоматизації виробничих процесів теплиць, показники ефективності яких безпосередньо залежать від функціональних та метрологічних характеристик комп'ютеризованих засобів вимірювання сукупності фізико-хімічних параметрів їх мікроклімату.

Метою статті є обґрунтування структури, технічна реалізація та лабораторні випробування макетного зразка комп'ютеризованого вимірювача

параметрів мікроклімату промислових теплиць із використанням сучасної компонентної бази.

Для досягнення поставленої мети було сформульовано та вирішено наступні задачі:

- визначення сукупності параметрів мікроклімату теплиць, а також робочих діапазонів та допустимих похибок їх вимірювань, з точки зору інформативності їх впливу на показники темпів та об'ємів зростання інтродукованих тепличних культур;

- аналіз технічних і метрологічних характеристик та функціональних можливостей існуючих рішень щодо побудови систем контролю фізико-хімічних параметрів мікроклімату промислових теплиць;

- розробка структурної схеми досліджуваного вимірювача та обґрунтування компонентної бази, на якій буде побудовано інформаційно-вимірювальну систему з урахуванням регламентованих вимог до метрологічних та технологічних показників засобу вимірювання;

- обґрунтування базових функцій вимірювальної системи, принципів її функціонування, а також технічна реалізація макетного зразка вимірювача із його подальшими лабораторними випробуваннями.

Результати розробки та досліджень. На підставі аналізу актуальних на теперішній час вимог щодо принципів вирощування культур на захищених ґрунтах [2–4] обов'язковим є виконання вимірювань в режимі реального часу наступних фізико-хімічних параметрів в робочій зоні теплиці «Inside»: температура та вологість повітря; концентрація CO₂; рівень освітлення в одиницях природної фотосинтетичної активної радіації (ФАР); температура та вологість ґрунту; кислотність, температура та електропровідність поливної води; швидкість руху потоків повітря. Також для більш адекватної оцінки впливу параметрів мікроклімату теплиць на режими зростання культур та їх регулювання в допустимих межах є необхідність у вимірюванні вологості й температури навколишнього середовища «Outside», що також дозволить більш раціонально використовувати ресурси й електричну енергію.

Згідно існуючої інформації щодо поточних локацій потужностей аграрних виробництв із захищеними ґрунтами встановлено, що вони найчастіше віддалені від місць розташування головних офісів та спеціалізованих лабораторій аграрних підприємств, що погіршує показник оперативного реагування на ефективність зростання культур. Отже, вимога щодо реалізації віддаленого контролю параметрів мікроклімату теплиць є обов'язковою при розробці вимірювача.

На підставі проведеного аналізу технічних характеристик та функціональних можливостей існуючих систем автоматичного управління технологічними процесами теплиць [5, 6] встановлено, що більшість із них не реалізують on-line вимірювань повного переліку регламентованих показників. Також до недоліків відомих систем можна віднести той факт, що вони не реалізують функцію прогнозування динаміки вимірюваних параметрів, яка

є актуальною для інерційних об'єктів таких, як промислові теплиці та селекційні комплекси. Існуючі системи також потребують значних капіталовкладень та мають значний період окупності проекту.

Отже, виходячи з результатів проведеного аналізу апріорної інформації можна зробити висновок, що досліджуваний комп'ютеризований вимірювач параметрів мікроклімату теплиць повинен реалізовувати наступні базові функції:

1. On-line вимірювання параметрів мікроклімату промислових теплиць «Inside» та «Outside».

2. Передача даних вимірювань до віддалених місць їх реєстрації та обробки з метою оперативної корекції інформативних параметрів мікроклімату теплиць.

3. Формування бази даних результатів вимірювань з метою уточнення існуючих математичних моделей, що описують закономірності взаємозв'язку фізико-хімічних параметрів мікроклімату теплиць, а також побудови на їх базі екстраполяційних моделей.

4. Реалізація принципів автоматизованого та автоматичного управління засобами й виконавчими механізмами регулювання параметрів технологічних процесів промислових теплиць.

На підставі проведених досліджень з урахуванням регламентованих вимог до переліку вимірюваних параметрів та базових функцій розроблюваного вимірювача було обґрунтовано його структурну схему, яку наведено на рис. 1.

На підставі аналізу вимог до метрологічних характеристик та базових функцій вимірювача з урахуванням результатів попередніх досліджень [7, 8] було обґрунтовано компонентну базу для реалізації макетного зразка досліджуваної системи. При вирішенні задачі вибору сенсорів фізико-хімічних параметрів мікроклімату промислових теплиць та модулів розширення функціональних можливостей вимірювача було прийнято до уваги фактор сумісності датчиків з мікропроцесорною платформою Arduino Uno, на якій реалізовано макетний зразок досліджуваного засобу вимірювання. Таким чином, апаратну складову макетного зразка досліджуваного вимірювача реалізовано із використанням наступних функціональних вузлів та блоків:

- вимірювальні канали (ВК) температури (T) й вологості (W) ґрунту та кислотності (pH), електропровідності (σ) і T поливної води побудовано на базі розробленого авторами статті макетного зразка інформаційно-вимірювальної системи фізичних параметрів ґрунтів промислових теплиць [9];

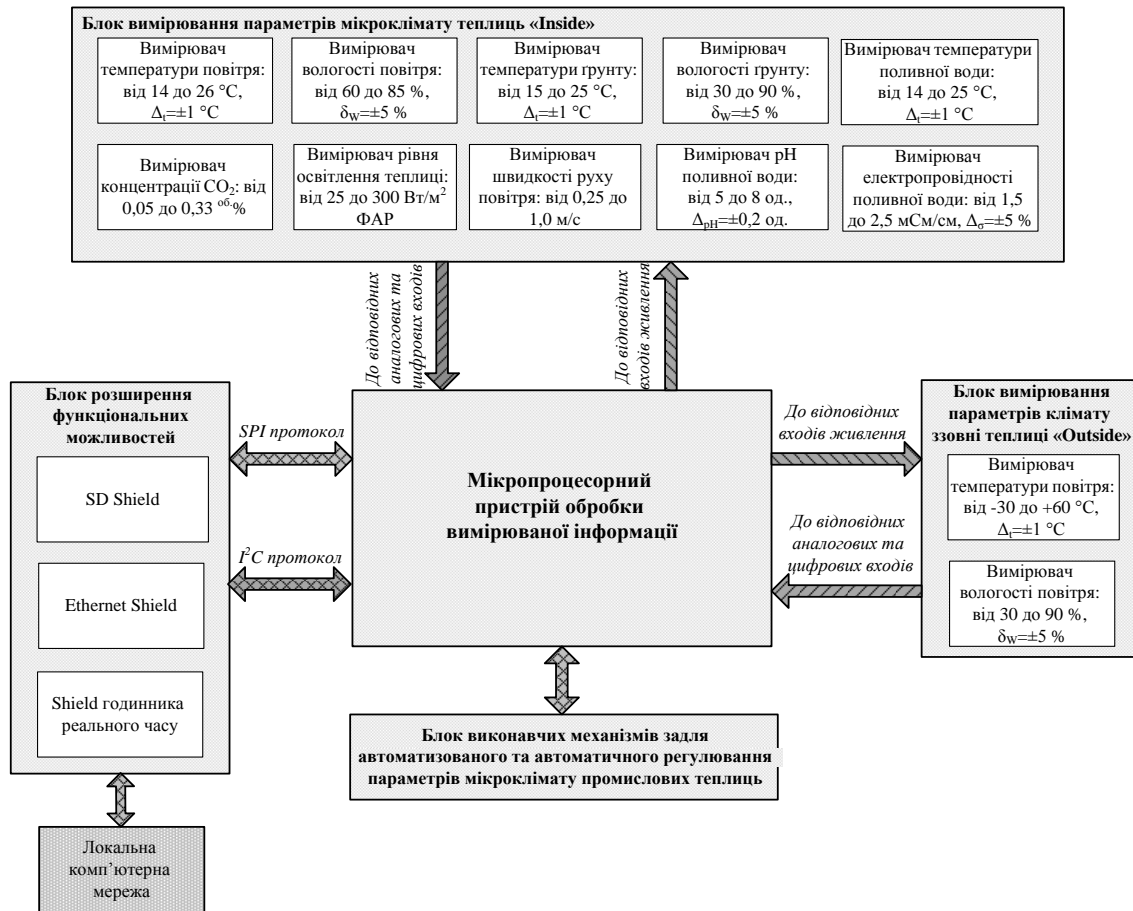
- ВК T й W повітря «Inside» та «Outside» побудовано на базі датчика DHT 22, який має наступні метрологічні характеристики: діапазон вимірювання T від -40 до 80 °C, сумарна абсолютна похибка $\pm 0,5$ °C; діапазон вимірювання W від 0 до 100 %, сумарна абсолютна похибка ± 2 % [10];

- ВК рівня освітлення побудовано на базі фоторезистору типу VT90N2 [10];

- ВК концентрації CO₂ побудовано на базі електрохімічного сенсору типу MG-811 [10];

– ВК швидкості руху потоків повітря побудовано на базі сумісного з Arduino анемометру [11];
 – в якості вузлів блоку розширення функціональних можливостей використано SD Card Shield; Ethernet ENC28J60 Shield та Real time clock модуль на базі мікросхеми DS1307 [10].

На підставі обґрунтованої компонентної бази було реалізовано макетний зразок комп'ютеризованого вимірювача параметрів мікроклімату промислових теплиць та проведено його первинні лабораторні випробування (див. рис. 2).



Примітка: для вимірювачів концентрації CO₂, рівня освітлення приміщення теплиці та швидкості руху повітря в приміщенні теплиці показники точності вимірювання не нормуються.

Рис. 1 – Структурна схема комп'ютеризованого вимірювача фізико-хімічних параметрів мікроклімату промислових теплиць

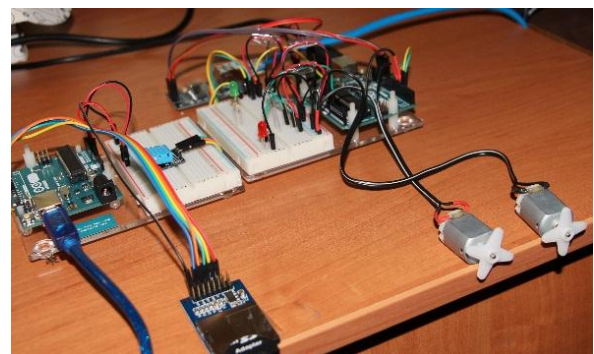
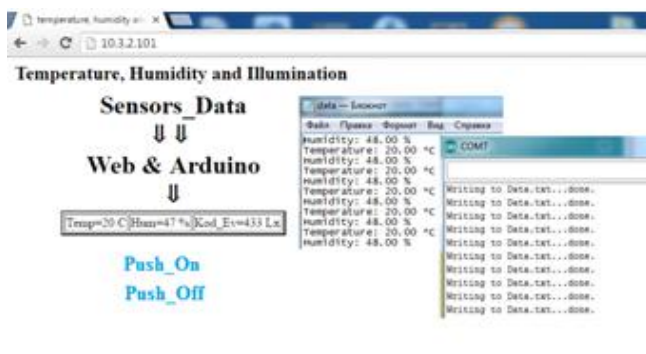


Рис. 2 – Результати розробки комп'ютеризованого вимірювача параметрів мікроклімату теплиць

Реалізований макетний зразок, зовнішній вигляд та результати роботи якого наведено на рис. 2, виконує наступні базові функції: on-line вимірювання фізико-хімічних параметрів мікроклімату теплиць;

локальна та віддалена (за допомогою Web інтерфейсу) реєстрація, індикація й обробка вимірюваних значень фізичних параметрів; формування бази даних вимірюваних параметрів; автоматизоване та

автоматичне управління засобами й виконавчими механізмами регулювання вимірюваних параметрів технологічних процесів у промислових теплиць. На підставі цього можна зробити висновок, що реалізований макетний зразок вимірювача може бути використаний в якості інструменту для проведення подальших наукових досліджень: з виявлення закономірностей взаємного впливу вимірюваних параметрів на показники ефективності вирощування рослин на захищених ґрунтах; удосконалення існуючих та створення нових математичних моделей процесів, що протікають у вимірювальних каналах інформаційно-вимірювальної системи параметрів мікроклімату теплиць; побудови моделей прогнозування динаміки інформативних параметрів мікроклімату теплиць з урахуванням дестабілізуючих факторів; розробки методів та засобів автоматичного управління технологічними процесами з вирощування інтродукованих культур на захищених ґрунтах.

Реалізація заявлених напрямків досліджень дозволить покращити показники врожайності вітчизняних об'єктів агропромислового комплексу за рахунок впровадження комп'ютеризованих вимірювачів фізико-хімічних параметрів мікроклімату теплиць.

Висновки. 1. Обґрунтовано базову сукупність інформативних фізико-хімічних параметрів мікроклімату промислових аграрних підприємств із захищеними ґрунтами та проведено аналіз функціональних можливостей існуючих рішень щодо побудови систем автоматичного управління технологічними процесами теплиць, що дозволило обґрунтувати вимоги та розробити структурну схему досліджуваного макетного зразка вимірювача.

2. Розроблено апаратно-програмну реалізацію макетного зразка вимірювача, який дозволяє виконувати функції локальної та віддаленої реєстрації й обробки вимірюваної інформації щодо показників мікроклімату промислових теплиць з можливістю формування бази даних вимірюваних параметрів тепличних комплексів.

3. Встановлено пріоритетні напрямки подальших досліджень із використанням розробленого комп'ютеризованого вимірювача, що в перспективі дозволить підвищити врожайність вітчизняних агропромислових об'єктів із захищеними ґрунтами з вирощування овочів та квітів.

Список літератури

1. *Agronews*. Всеукраїнське інформаційне агентство [Електронний ресурс]: Виробництво тепличних овочів в Україні. – Режим доступу: <http://agronews.ua/node/52262>. – Дата звертання: 11 березня 2016.
2. *ВНТП АПК-19-07*. Тепличні і оранжерейні підприємства. Споруди захищеного ґрунту для фермерських (селянських) господарств: Відомчі норми технологічного проектування / М-во аграр. політ. України. – К.: «ХІК», 2007. – 140 с.
3. *НТП 10-95*. Нормы технологического проектирования теплиц и тепличных комбинатов для выращивания овощей и рассады: Ведомственные нормы технологического проектирования / Минсельхозпрод РФ. – М.: Гипронисельпром, 1996. – 87 с.

4. *НТП АПК 1.10.09.001-02*. Нормы технологического проектирования селекционных комплексов и репродукционных теплиц: Ведомственные нормы технологического проектирования / Минсельхоз РФ. – М.: Гипронисельпром, 2003. – 24 с.
5. *НПФ «Фито»* [Електрон. ресурс]: контроль за технологическими параметрами в теплицах. – Режим доступу: <http://www.greenhouses.ru/Kontrol-za-tehnicheskimi-parametrami-v-teplicah>. – Дата звертання: 12 березня 2016.
6. *«Промгидропоника»* [Електрон. ресурс]: управление микроклиматом в промышленных теплицах. – Режим доступу: <http://www.promgidroponica.ru/index.php?q=node/1198>. – Дата звертання: 12 березня 2016.
7. *Лактионов И.С.* Разработка и исследование макетного образца измерителя влажности почвы / *И.С. Лактионов, В.В. Турупалов* // Збірн. наук. пр. Донецьк. ін-ту заліз. трансп. укр. держ. акад. заліз. трансп. – Донецьк. – 2014. – Вип. 38. – С. 13–19.
8. *Лактионов И.С.* Полевой измеритель кислотности почв с аппаратно-программной компенсацией дестабилизирующего влияния естественной влажности / *И.С. Лактионов, М.Ю. Никоненко* // Наук. пр. Донецьк. нац. техн. ун-ту. Сер.: «Обчислювальна техніка та автоматизація». – Красноармійськ. – 2015. – Вип. 1 (28) 2015. – С. 133–140.
9. *Лактионов И.С.* Комп'ютеризована інформаційно-вимірювальна система фізичних параметрів ґрунтів промислових теплиць з компенсацією дестабілізуючих впливів автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. тех. наук: спец. 05.13.05 «Комп'ютерні системи та компоненти» / *Лактионов Іван Сергійович*; Держ. вищ. навч. закл. «Донец. нац. техн. ун-т». – Красноармійськ. – 2015. – 20 с. – укр.
10. *Arduino-ua* [Електрон. ресурс]: шилды и датчики. – Режим доступу: <https://arduino-ua.com/cat6-Datchiki>. – Дата звертання: 03 квітня 2016.
11. *Amperka* [Електрон. ресурс]: анемометр. – Режим доступу: <http://amperka.ru/product/anemometer-kit>. – Дата звертання: 05 квітня 2016.

References (transliterated)

1. Vseukrayinske informatsiyne agentstvo Agronews [All Ukrainian news agency Agronews]. Available at: <http://agronews.ua/node/52262>. (accessed 12.04.2016).
2. Vidomchi normi tehnologichnogo proektuvannya (2007), VNTP APK-19-07. Teplichni i oranzhereyni pidpriemstva. Sporudi zahishchenogo gruntu dlya fermerskih (selyanskikh) gospodarstv [Greenhouse and greenhouse businesses. Structures protected ground for farming (rural) farm]. «ХІК», Kiev, Ukraine.
3. Vedomstvennye normy tehnologicheskogo proektirovaniya (1996), NTP 10-95. Normy tehnologicheskogo proektirovaniya teplits i teplichnyh kombinatov dlya vyrashchivaniya ovoshchey i rassady [Norms of technological designing greenhouses and greenhouse combines for growing vegetables and sprouts]. Giproniselprom, Moscow, Russian Federation.
4. Vedomstvennye normy tehnologicheskogo proektirovaniya (2003), NTP APK 1.10.09.001-02. Normy tehnologicheskogo proektirovaniya selektsionnyh kompleksov i reproduktsionnyh teplits: Vedomstvennye normy tehnologicheskogo proektirovaniya [Norms of technological designing breeding complexes and reproduction greenhouses]. Giproniselprom, Moscow, Russian Federation.
5. NPF «Fito» [NPF «Phyto»]. Available at: <http://www.greenhouses.ru/Kontrol-za-tehnicheskimi-parametrami-v-teplicah> (accessed 15.04.2016).
6. «Promgidroponika» [Industrial hydroponics]. Available at: <http://www.promgidroponica.ru/index.php?q=node/1198> (accessed 15.04.2016).
7. Laktionov I.S., Turupalov V.V. Razrabotka i issledovanie maketnogo obraztsa izmeritelya vlazhnosti pochvy [Development and research of the soil moisture meter model sample]. *Zbirn. nauk. pr. Donetsk. in-tu zalizn. transp. ukr. derzh. akadem. zalizn. transp.* 2014, Vol. 38, pp. 13–19.
8. Laktionov I.S., Nikonenko M.Ju. Polevoy izmeritel kislotnosti pochvy s apparatno-programmnoy kompensatsiey destabiliziruyushchego vliyaniya estestvennoy vlazhnosti [Field meter of the soil acidity with hardware and software compensation

- of the natural moisture destabilizing effect]. *Nauk. pr. Donetsk. nats. tehn. un-tu. Ser.: «Obchislyvalna tehnika ta avtomatizatsiya»*. 2015, Vol. 1 (28), pp. 133–140.
9. Laktionov I.S. Komp'yuterizovana informatsiyno-vimiryvalna sistema fizichnih parametriv gruntiv promislivih teplits z kompensatsieyu destabilizuyuchih vpliviv [The computerized information-measuring system of the industrial greenhouses soil physical parameters with destabilizing influences compensation]. *avtoref. dis. na zdobuttya nauk. stupenya kand. teh. nauk: spets. 05.13.05 «Komp'yuterni sistemi ta komponenti»*. 2015, 20 p.
10. «Arduino-ua» [Arduino-ua]. Available at: <https://arduino-ua.com/cat6-Datchiki> (accessed 20.04.2016).
11. «Amperka» [Amperka]. Available at: <http://amperka.ru/product/anemometer-kit> (accessed 22.04.2016).

Надійшла (received) 25.05.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Макетний зразок комп'ютеризованого вимірювача параметрів мікроклімату промислових теплиць / О.В. Вовна, І.С. Лактіонов, А.А. Зорі // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Електроенергетика та перетворювальна техніка. – Х. : НТУ «ХПІ», 2017. – № 4 (1226). – С. 14–18. – Бібліогр.: 11 назв. – ISSN 2079-4525.

Макетный образец компьютеризированного измерителя параметров микроклимата промышленных теплиц / А. В. Вовна, И. С. Лактионов, А. А. Зори // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Електроенергетика та перетворювальна техніка. – Х. : НТУ «ХПІ», 2017. – № 4 (1226). – С. 14–18. – Бібліогр.: 11 назв. – ISSN 2079-4525.

The computerized meter model sample of the industrial greenhouses microclimate parameters / O. V. Vovna, A. A. Zori, P. N. Akhmedov // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Elektroenergetika i preobrazovatelnaya tehnika. – Kharkov : NTU "KhPI", 2017. – No. 4 (1226). – P. 14–18. – Bibliogr.: 11. – ISSN 2079-4525.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Вовна Олександр Володимирович – доктор технічних наук, доцент, Державний вищий навчальний заклад «Донецький національний технічний університет», професор кафедри електронної техніки, м. Покровськ (Красноармійськ); тел.: +38(050) 193-35-44; e-mail: Vovna_Alex@ukr.net.

Вовна Александр Владимирович – доктор технических наук, доцент, Государственное высшее учебное заведение «Донецкий национальный технический университет», профессор кафедры электронной техники, г. Покровск (Красноармейск); тел.: +38(050) 193-35-44; e-mail: Vovna_Alex@ukr.net.

Vovna Oleksandr Volodimirovich – Doctor of Technical Sciences, Docent, State Higher Education Establishment «Donetsk National Technical University», Professor at the Department of Electronic Technique, Pokrovsk (Krasnoarmiisk); tel.: +38(050) 193-35-44; e-mail: Vovna_Alex@ukr.net.

Лактіонов Іван Сергійович – кандидат технічних наук, Державний вищий навчальний заклад «Донецький національний технічний університет», старший викладач кафедри електронної техніки, м. Покровськ (Красноармійськ); тел.: (050) 556-21-43; e-mail: ivanlaktionov88@mail.ru.

Лактионов Иван Сергеевич – кандидат технических наук, Государственное высшее учебное заведение «Донецкий национальный технический университет», старший преподаватель кафедры электронной техники, г. Покровск (Красноармейск); тел.: (050) 556-21-43; e-mail: ivanlaktionov88@mail.ru.

Laktionov Ivan Sergiyovich – Candidate of Engineering Science (Ph. D.), State Higher Education Establishment «Donetsk National Technical University», Senior lecturer of the Electronic technology department, Pokrovsk (Krasnoarmiisk); tel.: (050) 556-21-43; e-mail: ivanlaktionov88@mail.ru.

Зорі Анатолій Анатолійович – доктор технічних наук, професор, Державний вищий навчальний заклад «Донецький національний технічний університет», завідувач кафедри електронної техніки, м. Покровськ (Красноармійськ); тел.: +38(050) 174-12-14; e-mail: Zori_AA@mail.ru.

Зори Анатолий Анатольевич – доктор технических наук, профессор, Государственное высшее учебное заведение «Донецкий национальный технический университет», заведующий кафедры электронной техники, г. Покровск (Красноармейск); тел.: +38(050) 174-12-14; e-mail: Zori_AA@mail.ru.

Zori Anatolij Anatolijovich – Doctor of Technical Sciences, Professor, State Higher Education Establishment «Donetsk National Technical University», Head at the Department of Electronic Technique, Pokrovsk (Krasnoarmiisk); tel.: +38(050) 174-12-14; e-mail: Zori_AA@mail.ru.