

УДК 530:378.004

**ЛЯШЕНКО Ю. О.,**

доктор фізико-математичних наук, доцент,  
директор ННІ фізики, математики та КІС  
Черкаського національного університету  
ім. Богдана Хмельницького

**ДІДУК В. А.,**

кандидат технічних наук, доцент кафедри АКІТ  
ННІ ФМ та КІС Черкаського національного  
університету ім. Богдана Хмельницького

**РОМАНОВА А. Ю.,**

аспірант Черкаського національного університету  
ім. Богдана Хмельницького

**ГРИЦЕНКО В. Г.,**

кандидат педагогічних наук, доцент кафедри АКІТ  
ННІ ФМ та КІС Черкаського національного  
університету ім. Богдана Хмельницького

## **РОЗРОБКА ТА МЕТОДИКА ЗАСТОСУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО АПАРАТНО-ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ З ФІЗИКИ**

*У роботі розглянуто принципи побудови та методика застосування програмно-апаратного автоматизованого комплексу для інтенсифікації проведення навчальних експериментів з курсу фізики. Розроблений автоматизований комплекс побудовано з застосуванням міні-комп'ютера Raspberry Pi3, для якого розроблено відповідне програмне забезпечення. Показано, що запропонована структура програмно-апаратного автоматизованого комплексу дозволяє підвищити ефективність як індивідуальної роботи студентів, так роботи викладача під час проведення лабораторних практикумів. Методика застосування розробленого автоматизованого програмно-апаратного комплексу розглянута на прикладі базової лабораторної роботи по вивченню моделі математичного маятника.*

**Ключові слова:** методика навчання, Raspberry Pi3, Android, Moodle, автоматизований програмно-апаратний комплекс, лабораторний практикум з фізики.

**Постановка проблеми.** Однією з областей застосування мікропроцесорної техніки є збір і обробка даних за проведення наукових та навчальних експериментальних досліджень. Існує низка навчальних дисциплін, в тому числі фізика, в яких фахова підготовка спеціаліста неможлива без проведення натурних експериментів з подальшою обробкою та аналізом зібраних даних. Нині в університетах для проведення експериментальних досліджень з фізики використовується значна різноманітність вимірювального обладнання. Але практично майже все воно створено в минулих десятиліттях і виглядає застарілим, в тому числі й з методичної точки зору. Перевагою таких приладів є наявність в них систем вимірювання сигналів. Але використання функціонально застарілих аналогових та аналогово-цифрових каналів збору та відображення інформації знижує достовірність результатів експериментів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій** показує, що виходом з такої ситуації є застосування віртуальних комп'ютерних фізичних експериментів, які замінюють або доповнюють натурні експерименти та розширюють методичні інструменти викладання та вивчення законів фізики. За умови правильної побудови комп'ютерної моделі того

чи іншого досліджуваного явища природи на основі розвинутих фізичних моделей завжди отримуються достовірні результати. Це може бути основою для визначення похибок, що отримуються під час проведення натурних експериментів. Ресурси сучасних комп'ютерних систем та розвинуті методи комп'ютерного моделювання у цілому достатні для проведення якісного модельного експерименту з екранною візуалізацією процесів. На сьогоднішній час для лабораторних практикумів широко використовують такі педагогічні програмні засоби як "Віртуальна фізична лабораторія", "Бібліотека електронних наочностей", "Теплові процеси. version 3.0" та інше [1 – 4]. Проте такий підхід має один суттєвий недолік – комп'ютерні моделі видають результати, задані рівняннями та параметрами, що описують цю модель. Але вони не дозволяють враховувати додаткові фактори, які неминуче супроводжують перебіг реальних фізичних процесів.

Таким чином, в системі фізичної освіти, в тому числі в області вивчення інженерних дисциплін, вважається доцільним і актуальним розробка нових підходів до створення експериментальних установок з комп'ютерними інтерфейсами управління, збору, передачі та обробки даних, оцінювання індивідуальної роботи студентів. І саме розвиток нових електронних засобів стає передумовою для масштабної автоматизації експериментальних досліджень різноманітних фізичних процесів та явищ. Широка номенклатура прецизійних цифрових датчиків уже на сучасному етапі дає можливість перейти до розробки автоматизованих комплексів, що дозволить значно підвищити якість виконання експериментальних досліджень в процесі навчання студентів.

Сьогодні на ринку існує значна кількість електронних цифрових лабораторій, що дозволяють модернізувати процедуру проведення експериментів. Серед таких можна виділити системи "Архімед", "Einstein", "LabDisc", "Pasco", "AFS" ("All For School"), "COBRA 3" і "COBRA 4", "NOVA Link" та інші [5 – 10]. Переважна частина зазначених комплексів орієнтована на використання в школах і не передбачає різноманіття чи варіативності проведення досліджень. Частина систем використовує набір датчиків, у яких відсутній захист від взаємодії з агресивними середовищами, мають обмежену кількість вимірюваних параметрів тощо. Інша частина систем взагалі містить основну частину датчиків всередині корпусу, що обмежує можливості вимірювань. Також практично всі системи опрацьовують дані у власних програмних додатках, що також накладає певні обмеження на варіативність обробки даних. Важливим обмеженням вказаних систем є неможливість застосування додаткових датчиків та організації нових лабораторних робіт.

Вказані вище передумови роблять актуальним створення відповідного апаратно-програмного забезпечення та подальшу розробку на їх базі автоматизованого комплексу проведення фізичного експерименту для достатньо великих груп студентів.

Серед існуючих на ринку мікропроцесорних засобів розробки найбільш використовуваними є Arduino, STM32F4DISCOVERY, MSP430, Raspberry PI та інші похідні на базі ARM-процесорів. З нашої точки зору, найбільш оптимальним для розробки автоматизованих комплексів проведення лабораторних досліджень з фізики є застосування міні-комп'ютерів на базі ARM-процесорів, зокрема Raspberry PI3. Міні-комп'ютер працює на базі операційної системи Raspbian – однієї з різновидів Linux, що дає можливість використовувати об'єктно-орієнтовану мову програмування Python, орієнтовану на підвищення продуктивності розробника і читабельність коду. Синтаксис ядра Python мінімалістичний. У той же час стандартні бібліотеки включають значну кількість готових функцій. Таким чином, на додачу до базового розробленого програмного забезпечення, дослідник матиме змогу швидко створити потрібний саме для нього додаток, чи процедуру обробки даних.

**Мета статті** полягає в розробці структури програмно-апаратного комплексу для автоматизації проведення навчальних експериментів з фізики та опису методики його застосування.

Для досягнення поставленої мети були використані наступні *методи дослідження*: теоретичний аналіз, натурний та комп'ютерний експеримент, синтез та узагальнення висновків.

*Наукова новизна* результатів дослідження полягає у розкритті ефективності автоматизації проведення лабораторних робіт та фізичних практикумів в групах студентів із застосуванням автоматизованих приладів та автоматизованих апаратно-програмних систем збору даних та контролю результатів роботи.

**Виклад основного матеріалу.** Структура розробленого автоматизованого програмно-апаратного комплексу представлена на рисунку 1.

Розроблений автоматизований програмно-апаратний комплекс побудовано на основі міні-комп'ютера Raspberry Pi3, що передає управляючі сигнали на експериментальні установки (стенди, датчики, виконуючі пристрої і тощо) та отримує вимірні сигнали через інтерфейс GPIO з відповідних цифрових датчиків чи перетворює аналогові сигнали через додатково встановлений модуль розширення аналого-цифрового перетворювача. Локальне управління міні-комп'ютером Raspberry Pi3 здійснюється на основі розробленого програмного забезпечення через сенсорний екран. Отримані з автоматизованих експериментальних фізичних пристроїв дані передаються засобами мережі Wi-Fi на мобільні гаджети студентів та перетворюються за допомогою Андроїд-додатків в візуальну інформацію з завданнями для них. Отримані студентами експериментальні дані обробляються та аналізуються студентами в рамках виконання індивідуальних завдань. В системі передбачена генерація та відправка електронної звітності через гаджети студентів на віддалений сервер з встановленим середовищем дистанційного навчання Moodle. Даний підхід дозволяє вести електронний журнал довготривалого експерименту, систематизації та подальшого аналізу зібраних результатів. Під час проведення навчального експерименту електронна звітність дозволяє викладачеві здійснювати якісний моніторинг роботи студентів групи та її оцінювання.

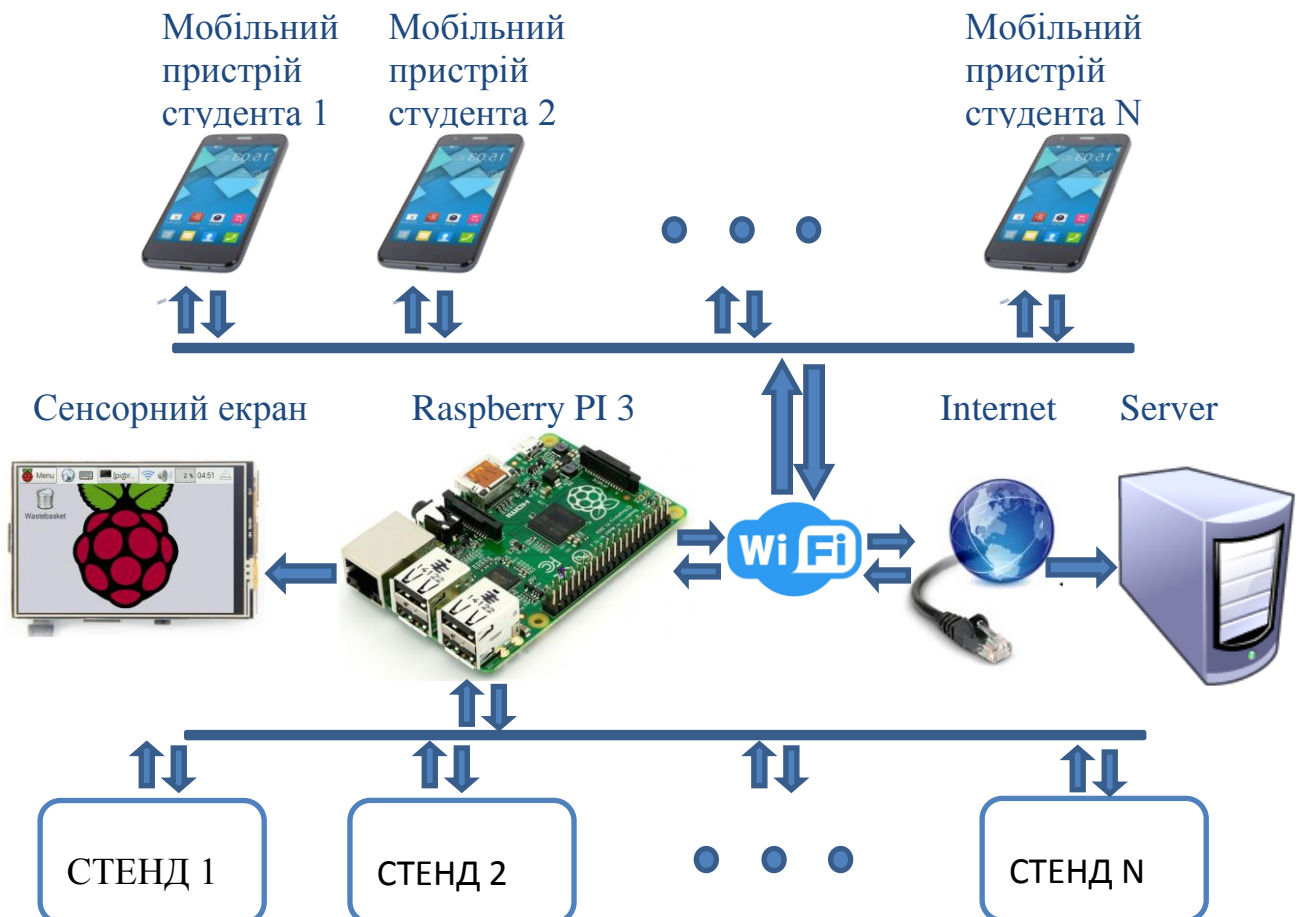


Рис. 1. Структура автоматизованого комплексу для проведення лабораторних практикумів з фізики

**Апробація апаратно-програмного комплексу та методика проведення фізичного експерименту на його основі.** Розроблена система була протестована під час виконання ряду лабораторних робіт. Опишемо проведення порівняльного експерименту з існуючими дослідницькими комплексами. Так, зокрема, під час вивчення коливань математичного маятника можливе застосування пристрою FPM-03 польського виробництва «Ельваро», зовнішній вигляд якої представлено на рисунку 2, а). FPM-03 може підраховувати кількість коливань маятника та загальний час експерименту.

У якості математичного маятника використовується металева кулька з радіусом  $r$ , що підвішена на тонкій нитці з довжиною  $l$ . Тоді, для розрахунку прискорення вільного падіння застосовується вираз  $g = \frac{4\pi^2 l}{T^2}$ .

У ході виконання роботи із застосуванням автоматизованого комплексу експериментатором вимірюється довжина маятника  $l$ , радіус кулі  $r$ . Маятник відхиляється з положення рівноваги на  $4-6^\circ$  (для забезпечення умов малих коливань) та приводиться в стан коливань. В FPM-03 реєструючий пристрій на основі світло- та фотодіодів фіксує часи проходження кулькою положень рівноваги з підрахунком кількості коливань.

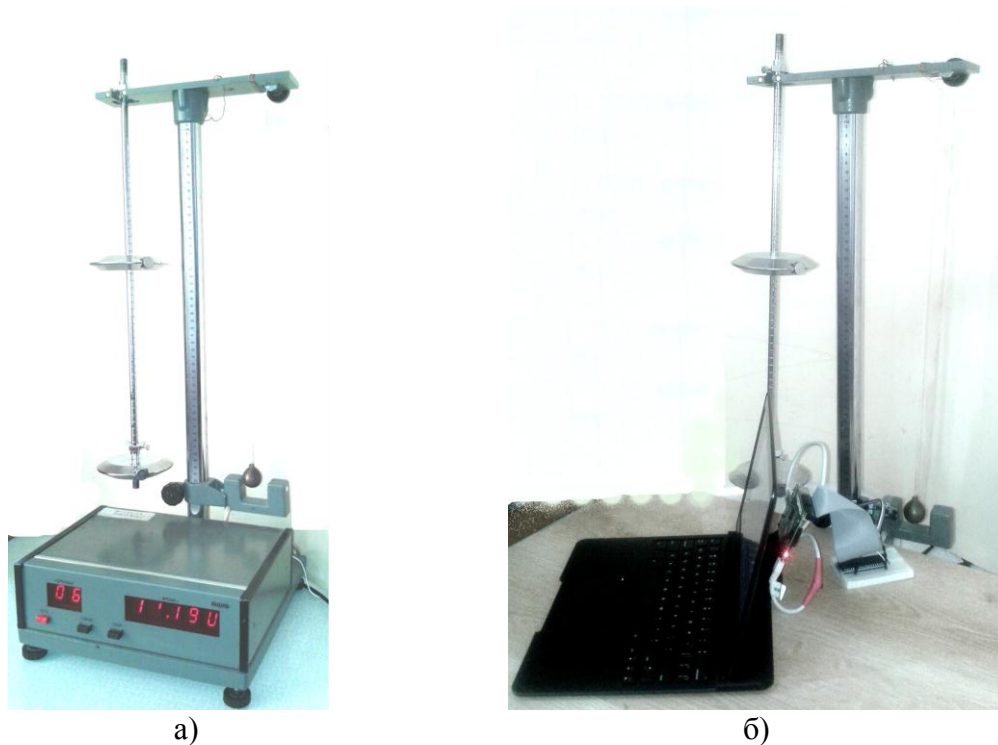


Рис. 2. Пристрій для дослідження коливань математичного та фізичного маятників:

а) FPM-03; б) модифікована система на базі Raspberry PI 3 та док-станції Motorola ATRIX 4G Lapdock

У ході експерименту за стандартною методикою вимірюються моменти часу  $t$  після здійснення кожної серії  $n$  повних коливань. Вимірювання часів кожної серії коливань проводяться 3 – 4 рази. При цьому за перебігом експерименту студент повинен слідкувати самостійно, що при роботі в групах часто призводить до помилок. В нашому підході під час застосування автоматизованого комплексу (Рис. 2, б)) викладач-експериментатор заносить в протокол експерименту засобами розробленого програмного забезпечення виміряні значення довжини підвісу та радіуса кульки. Ним же маятник приводиться в режим коливань. Система автоматично проводить необхідний відлік заданої кількості коливань та фіксує проміжки часу кожної серії коливань через запрограмований таймер на міні-комп'ютері. Зібрані дані вимірювань передаються на Андроїд-пристрої студентів в розроблений додаток та візуалізуються. Далі, студенти в ході виконання індивідуальних завдань розраховують значення прискорення вільного падіння після кожної серії коливань, знаходять середнє та відносну похибку досліджень. Отримані розрахункові дані студенти заносять в Андроїд-додаток на своїх гаджетах та завершують роботу шляхом передачі даних в середовище дистанційного навчання Moodle. Додатково студенти через розроблений Андроїд-додаток мають можливість проходити тестовий контроль до лабораторної роботи, що організовується засобами Moodle. Викладач легко оцінює результати групи студентів стандартними засобами середовища Moodle з відповідною фіксацією оцінки роботи кожного із студентів в відповідній накопичувальній базі кожної групи студентів.

**Висновки.** 1. У роботі проведено опис розробленого апаратно-програмного автоматизованого комплексу для проведення лабораторних робіт з фізики на базі міні-комп'ютерів Raspberry Pi3.

2. Розроблено оптимальну структуру розподіленої системи автоматизованих фізичних експериментів із застосуванням оснащених електронними датчиками експериментальних пристроїв та можливістю виконання індивідуальних завдань студентами групи із застосуванням розроблених Андроїд-додатків. Для підвищення ефективності роботи викладача застосовано систему автоматизованого збору звітів студентів групи про виконану експериментальну роботу засобами середовища дистанційного навчання Moodle.

3. Проведено порівняльний базовий фізичний експеримент по дослідженню коливань математичного маятника, що дає змогу оцінити ефективність використання розробленого програмно-апаратного комплексу в навчальному процесі.

#### Список використаної літератури

1. Жук Ю.О. Організація суб'єктно орієнтованого навчального середовища у дидактичному просторі «віртуальна лабораторія» / Ю.О. Жук // Інформаційні технології і засоби навчання. – К. : ІТЗН НАПН України, 2010. – № 3 (17).
2. Семеніхіна О.В. Віртуальні лабораторії як інструмент навчальної та наукової діяльності / О.В. Семеніхіна, В.Г. Шамо́ня // Педагогічні науки: теорія, історія, інноваційні технології. – Суми : Вид-во Сум. ДПУ імені А.С.Макаренка, 2011. - №1(11). - С. 341-346.
3. Гуревич Р. С. Теоретичні та методичні основи організації навчання у професійно-технічних закладах: Монографія / За ред. С. У. Гончаренко. – К.: Вища школа, 1998. – 229 с.
4. Роберт И. В. Современные информационные технологии в образовании: дидактические проблемы; перспективы использования/ И. В. Роберт. –М.: Школа-Пресс, 1994. –205 с.
5. Кудін А. П. Програмне забезпечення реальних фізичних лабораторних практикумів / А. П. Кудін, А. О. Юрченко // Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка. Серія педагогічна/ – 2015. – №21. – С. 248 – 251
6. Автоматизация физических исследований и эксперимента: компьютерные измерения и виртуальные приборы на основе LabView 7 / Под ред. Бутырина П. А. – М.: ДМК Пресс, 2005. 264с.
7. Кислова М. А. Розвиток мобільного навчального середовища з вищої математики у підготовці інженерів-електромеханіків : дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата педагогічних наук : 13.00.10 –інформаційно-комунікаційні технології в освіті /Кислова Марія Алімівна; ДВНЗ «Криворізький національний університет». –Кривий Ріг, 2014. –273
8. VituLab.Виртуальная образовательная лаборатория [Электронный ресурс] / Виртуальная лаборатория ВиртуЛаб. –2016. –Режим доступа :<http://www.vitulab.net/>
9. Лапчик М. П. Информатика и информационные технологии в системе общего и педагогического образования: монография/ М. П. Лапчик. –Омск : Изд-во ОмГПУ, 1999.–294 с.
10. Лепкий М.І. Психолого-педагогічне використання комп'ютерних тренажерів, як інформаційних технологій навчання / М.І.Лепкий, В.О.Сацук // Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво : міжвуз. зб. – Луцьк, 2011. – Вип. No 5. –С. 155-160.

#### References

1. Zhuk Yu.O. (2010). *Organization of subject-oriented learning environment in the didactic space of the "virtual laboratory"* Informatsiini tekhnohohii i zasoby navchannia (Information technologies and learning tools) (in Ukr.)
2. Semenikhina O.V., Shamonina V. H. (2011). Virtual laboratories as instrument of educational and scientific activities *Pedahohichni nauky: teoriia, istoriia, innovatsiini tekhnohohii (Pedagogical Sciences: theory, history, innovative technologies)*, 11, 341-346. (in Ukr.)
3. Hurevych R. S. (1998). In S. U. Honcharenko (Ed.). *Theoretical and methodical bases of training in vocational schools*. Kyiv: High school (in Ukr.)
4. Robert Y. V. (1994). *Modern information technologies in education: didactic problems; prospects of using*. Moscow: School-Press. (in Rus.)
5. Kudin A. P., Yurchenko A. O. (2015). Software real physical laboratory workshops. *Zbirnyk naukovykh prats Kamianets-Podil'skoho natsionalnoho universytetu imeni Ivana Ohiiienka. Seriiia pedahohichna (Collection of scientific works of Kamianets-Podil'skyi national University named after Ivan Ogiienko. A series of pedagogical)*, 21, 248 – 251 (in Ukr.)
6. In P. A. Butyrina (Ed.) (2005). *Automation of physical researches and experiment: computer measurements and virtual instrumentation based on LabView 7*. Moscow: DMK Press. (in Rus.)
7. Kyslova M. A. (2014). The development of mobile learning environment in higher mathematics in training electrical engineers. *Rozvytok mobil'noho navchal'noho seredovyscha z vshchoyi matematyky u pidhotovtsi*

inzheneryv – elektromekhanikiv (Thesis for the degree of Candidate of Pedagogical Sciences). Krivyi Rig (in Ukr.)

8. VituLab. The virtual educational laboratory (2016 ). Retrieved from: <http://www.virtulab.net/> (in Rus.)

9. Lapchuk M. P. (1999). *Computer science and information technology in general and teacher education system: a monograph*. Omsk : Izdatelstvo OmGPU (in Rus.)

10. Lepkyy M. I. (2011). Psycho-pedagogical using of computer simulators as information technology training. *Kompiuterno-intehrovani tekhnolohii: osvita, nauka, vyrobnytstvo (Computer integrated technologies: education, science, production)*, 5, – PP. 155–160 (in Ukr.)

**LYASHENKO Yu.,**

Doctor of Science (Physics-Mathematics Sciences), Director of Educational and Research Institute of Physics, Mathematics and Computer-Information Systems, The Bohdan Khmelnytsky National University of Cherkasy

**DIDUK V.,**

Doctor of Philosophy (Technical Sciences), Associate Professor at the Department of Automation and Computer-Integrated Technologies, Educational and Research Institute of Physics, Mathematics and Computer-Information Systems, The Bohdan Khmelnytsky National University of Cherkasy

**ROMANOVA A.,**

Postgraduate student, Educational and Research Institute of Physics, Mathematics and Computer-Information Systems, The Bohdan Khmelnytsky National University of Cherkasy

**HRYTSENKO V.,**

Doctor of Philosophy (Pedagogical Sciences), Associate Professor, Head of the Department of Automation and Computer-Integrated, Educational and Research Institute of Physics, Mathematics and Computer-Information Systems, The Bohdan Khmelnytsky National University of Cherkasy

**DEVELOPMENT AND METHODS OF APPLICATION OF THE AUTOMATED HARDWARE AND SOFTWARE COMPLEX FOR PHYSICS LABORATORY WORKS**

**Abstract. Introduction.** *In this work the principles of construction and method of use of automated hardware-software complex for intensification of educational experiments of physics course were studied. The automated system was built using a mini-computer Raspberry Pi3, for which the software was developed. The basis set of an automated system is that the automatically collected experimental data is transmitted to the students' Android devices for further study and then the reports are sent to a file server. The received students' reports and their answers to the test questions are systematized and rated by the Moodle – the environment of a distance learning. It is shown that the proposed structure for automated hardware-software complex allows to increase the effectiveness of both - individual students and the teacher work in the laboratory workshops. Teaching methodology of developed hardware and software complexes considered on the example of basic laboratory work for the study of mathematical pendulum.*

**Purpose.** *Of our work is in development of the structure of hardware and software for automation of educational experiments in physics and describe the methods of its application.*

**Methods.** *Theoretical analysis, natural and computer experiment, synthesis and synthesis of finding.*

**Originality.** *Scientific novelty of research is revealing the efficiency of automation of laboratory work and individual workshops to groups of students with the use of automated devices and automated hardware and software systems for data collection and monitoring the results.*

**Results.** *Main results of the study are that developed the structure for hardware and software automation of educational experiments in physics. The software and hardware complex development is based on a mini-computer Raspberry PI3, transmits control signals to the experimental units (displays, sensors, performing devices, etc.) and receives the measured signals via GPIO with corresponding digital sensor or converts analog signals through optional expansion module installed. The local control of mini-computer Raspberry PI3 is done by the developed software by using the touchscreen. The obtained from automated experimental physical devices data is transmitted by Wi-Fi to the students' mobile devices and is displayed by Android application to visualize the information and tasks. The experimental data is processed and analyzed by students within the individual tasks. The system provides a report generation and sends them through students' mobile devices to a remote server with an established distance learning environment Moodle. This approach allows the creating*

of electronic log for a long experiment, systematization and further analysis of the collected results. During the educational experiment the electronic reporting allows teacher to perform qualitative monitoring of the students group and its assessment.

The system was tested during the laboratory work. We describe a comparative experiment with the existing research complex. In particular, in the study of mathematical pendulum oscillation it is possible to use the device FPM-03 of polish production "Elvaro". The realized system automatically carries out the required countdown, specified number of vibrations and fixing intervals of each series of vibrations via programmed timer on a mini-computer. The collected measurement data is transmitted by the students' Android devices to the developed application and is displayed. Then, student in his individual task calculates the acceleration of gravity after each series of vibrations and finds out the average relative error of research. The resulting estimates are entered to the Android application on students' gadgets which are then transformed to the environment of distance learning Moodle. Additionally, students have to pass test control of laboratory work in a developed Android application, organized by means of Moodle. Teacher easily evaluates the results of student groups in the Moodle environment with the proper latching assessment of each student.

**Conclusion.** In our work the hardware and software automated complex for physics laboratory practicum using mini-computer Raspberry Pi3 was described. An optimal structure of the distributed system of automated physical experiments using electronic devices equipped with sensors and the possibility of experimental individual tasks of students using Android applications was developed. To increase the efficiency of the teacher the system of automated collection of student reports using the distance learning environment Moodle was developed. Comparative experiment on basic of physical research of the mathematical pendulum oscillations was done, allowing to evaluate efficiency of the developed hardware and software automated complex for physics teaching in the classroom.

**Keywords:** teaching methodology, Raspberry Pi3, Android, Moodle, automated hardware and software complex, physics laboratory works.

Одержано редакцією 03.12.2016 р.  
Прийнято до публікації 14.12.2016 р.