

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

**Чорноморський національний університет  
імені Петра Могили**

**Факультет комп'ютерних наук**

**Кафедра інженерії програмного забезпечення**

**ПОЛЯНІЧКІН ВОЛОДИМИР ГЕННАДІЙОВИЧ**

**УДК 004.42**

**ПРОГРАМНО-АПАРАТНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ  
ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ  
НАВЧАЛЬНО-ТРЕНАЖЕРНОГО КОМПЛЕКСУ  
НА ОСНОВІ ПЛАТФОРМИ ARDUINO**

**Автореферат кваліфікаційної роботи на здобуття  
ступеня вищої освіти «Бакалавр»**

Спеціальність 121 «Інженерія програмного забезпечення»

Освітня кваліфікація  
«Бакалавр з інженерії програмного забезпечення»

**Миколаїв – 2020**

Кваліфікаційною роботою є рукопис.

Робота виконана в Чорноморському національному університеті імені Петра Могили Міністерства освіти і науки України на кафедрі інженерії програмного забезпечення.

Керівник: д-р. техн. наук, доцент  
кафедри комп'ютерної інженерії  
Журавська Ірина Миколаївна

Рецензент: д-р. пед. наук, проф.  
інтелектуальних інформаційних  
систем  
Мещанінов Олександр Павлович

Захист відбудеться «25» червня 2020 р. о 9<sup>30</sup> год. на засіданні екзаменаційної комісії (ауд. 2-\_\_\_\_) у Чорноморському національному університеті імені Петра Могили за адресою: вул. 68 Десантників, 10, м. Миколаїв, 54003.

З дипломною роботою можна ознайомитися в бібліотеці Чорноморського національного університету імені Петра Могили за адресою: вул. 68 Десантників, 10, м. Миколаїв, 54003.

Автореферат представлений «18» червня 2020 р.

Секретар  
екзаменаційної комісії,  
викладач кафедри ШЗ

І. О. Кандиба

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Для діагностування здатності оператора управляти складним технічним об'єктом, що керується через пульти управління, а також для подальших тренувань такого оператора створюються тренажери-симулятори, спеціалізовані для певних видів діяльності. Слід зазначити, що такі тренажери повинні відповідати функціям об'єкту або бути стаціонарним (електростанції, диспетчерські пункти енергоресурсів й т. п.), або рухатись у 2D-просторі (автотранспорт) або у 3D-просторі (кораблі, літаки, безпілотні апарати та ін.).

Однак, діагностування професійних навичок та підготовка (перепідготовка) операторів управління до експлуатації складних технічних засобів може ефективно здійснюватися не тільки на повномасштабних тренажерах, а й на тренажерах приватних завдань. Не знижуючи якості відпрацювання сенсорних і моторних навичок особового складу екіпажів усіх посад, що входять до штату комплексних систем управління, в останньому випадку різко скорочуються експлуатаційні витрати при підготовці екіпажу та початкові витрати на створення тренажера у порівнянні з витратами на створення реальних систем.

Використовуючи інтерактивний навчально-тренажерний та аналітично-консультативний комплекс (НТАКК), можливо аналізувати результати тренувань не тільки на кожному тренажері уособлено, але й аналітично об'єднувати окремі тренажери в єдині сегменти Intranet для моделювання кооперованих дій навчених операторів для досягнення цілей, пов'язаних зі спільною діяльністю на морських або повітряних суднах різного призначення. Крім того, можливо розширювати можливості реконфігураційних властивостей окремих тренажерів з підготовки персоналу для експлуатації різнорідних установок та/або установок з різнорідними електронними компонентами пультів управління. Також на тренажерах окремих функцій можливо

відпрацювання важливих, але рідкісних режимів управління об'єктами, помилка оператора в яких може привести до невиправданого збитку.

Таким чином, доцільно не тільки впроваджувати повномасштабні ресурсоємні тренажери промислового виробництва, але й створювати малогабаритні діагностувально-тренажерні прилади (надалі – ДТ-прилади) для тренування окремих навичок, в основу побудови котрих закладений принцип відкритої системи. Це дозволить при невеликих витратах на базі новітніх обчислювальних засобів оперативно змінювати або нарощувати функціональні резерви таких ДТ-приладів і проводити їх модернізацію.

**Об'єктом дослідження** є процес тренування дій операторів складних технічних систем, що виконуються натискуванням пальцями рук.

**Предметом дослідження** є діагностично-тренувальні прилади (надалі ДТ-прилади) НТАКК, засновані на датчиках різних типів, та програмне забезпечення («скетчі») модулів ДТ-приладів на платформі Arduino.

**Метою дослідження** є підвищення ефективності навчання операторів складних технічних систем за рахунок розробки програмно-апаратного забезпечення навчально-тренажерного комплексу на основі платформи Arduino

Для досягнення мети мають бути вирішені такі **завдання**:

- 1) провести аналіз існуючого програмно-апаратного забезпечення навчально-тренажерних комплексів;
- 2) виконати проектування та програмно-апаратну реалізацію серії малогабаритних ДТ-приладів на основі платформи Arduino;
- 3) провести експериментальні дослідження програмно-апаратного забезпечення розробленої серії ДТ-приладів «Reflex–Тхх» на основі датчиків Холла та сенсорів;
- 4) визначити критерії оцінювання ефективності використання ДТ-приладів у складі НТАКК.

**Методами дослідження** є аналіз, проектування та алгоритмізація рішень, програмне кодування прошивок модулів, тестування. Методи аналізу

стаціонарних та нестаціонарних процесів застосовані для оцінки ефективності тренувань.

**Практичне значення** розроблюваного програмно-апаратного забезпечення малогабаритних тренажерів НТАКК полягає в забезпеченні високої ефективності і якості навчання особового складу, що гарантує необхідний рівень його підготовки, збільшує ймовірність безаварійної експлуатації складних об'єктів подвійного військово-цивільного призначення і створює необхідні передумови для безпечного їх функціонування – мореплавання, польотів, автоперевезень, оперативних дій важкого автотранспорту (танків, вантажівок, тощо) та систем ураження противника.

Матеріали дипломної роботи пройшли **апробацію** на Всеукраїнській та на двох Міжнародних конференціях. Також, різні частини роботи були представлені на *конкурсах студентських наукових робіт*, де були відзначені трьома призовими місцями.

Результати роботи **опубліковані** у колективній монографії (англійською мовою) та у трьох тезах, одні з яких індексовані у *наукометричній базі Scopus*

Результати роботи **впроваджені** у держбюджетній науково-дослідній роботі (НДР) ЧНУ ім. Петра Могили «Розроблення найсучаснішого інтерактивного навчально-тренажерного та аналітично-консультативного комплексу військово-цивільного призначення» (№ держ. реєстрації 0118U000193, 2018–2019 рр., наук. керівник проф. Фісун М. Т.), що підтверджене Актом впровадження.

Робота складається зі вступу, 4 розділів, висновків, 4 додатків та переліку посилань з 28 джерел.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** подано обґрунтування актуальності теми бакалаврської роботи, сформульовано мету, об'єкт, предмет та завдання дослідження, вказано практичне значення розроблюваного НТАКК.

У **першому розділі** розглянуто загальні принципи створення діагностувально-тренувальних пристроїв пультів управління об'єктами подвійного призначення та використання датчиків дотику та датчиків Холла у пультах управління складними технічними об'єктами (стаціонарними та рухомими).

Проведено порівняння та вибір апаратних платформ для розробки діагностувально-тренувальних приладів

У **другому розділі** описано особливості роботи ДТ-приладів у складі єдиної ІС НТАКК, побудованої за мікросервісною архітектурою (рис. 1). Обґрунтований вибір апаратних компонентів для розробки серії ДТ-приладів серії «Reflex-Тхх». Описані особливості конструювання приладів на основі сенсорів (модель «Reflex-ТТ3» – «Training Touch 3») та на основі датчиків Холла (модель «Reflex-ТН3» – «Training Hall 3»).

Розглянуто можливості таких плат як Arduino Pro Mini, Arduino Nano, Arduino Uno, Arduino Mega ADK. В результаті порівняння було прийняте рішення використовувати плату Arduino Mega ADK на мікросхемі АТmega2560. Було підібрано компоненти для розробки системи, а саме: LCD-дисплей 20 × 4 на мікросхемі HD44780 для перетворення сигналів від контролерів і датчиків в графічну інформацію, Wi-Fi модуль ESP-01 для бездротового з'єднання із сервером для відправлення даних з модулей на базі датчика Холла, з якого знімаються дані, що обробляються і відправляються на інші мікросервіси ІС НТАКК та на головний екран ДТ-приладу, три RGB-світлодіоди, сервомотор SG-90 для здійснення повороту робочої зони на 30°, інші електронні компоненти.

Описано інтерфейси зв'язку, що використовувалися під час розробки системи. Проведене макетування приладів серії «Reflex-Тхх» у програмі з вільним доступом Fritzing v. 0.9.3 (рис. 2).

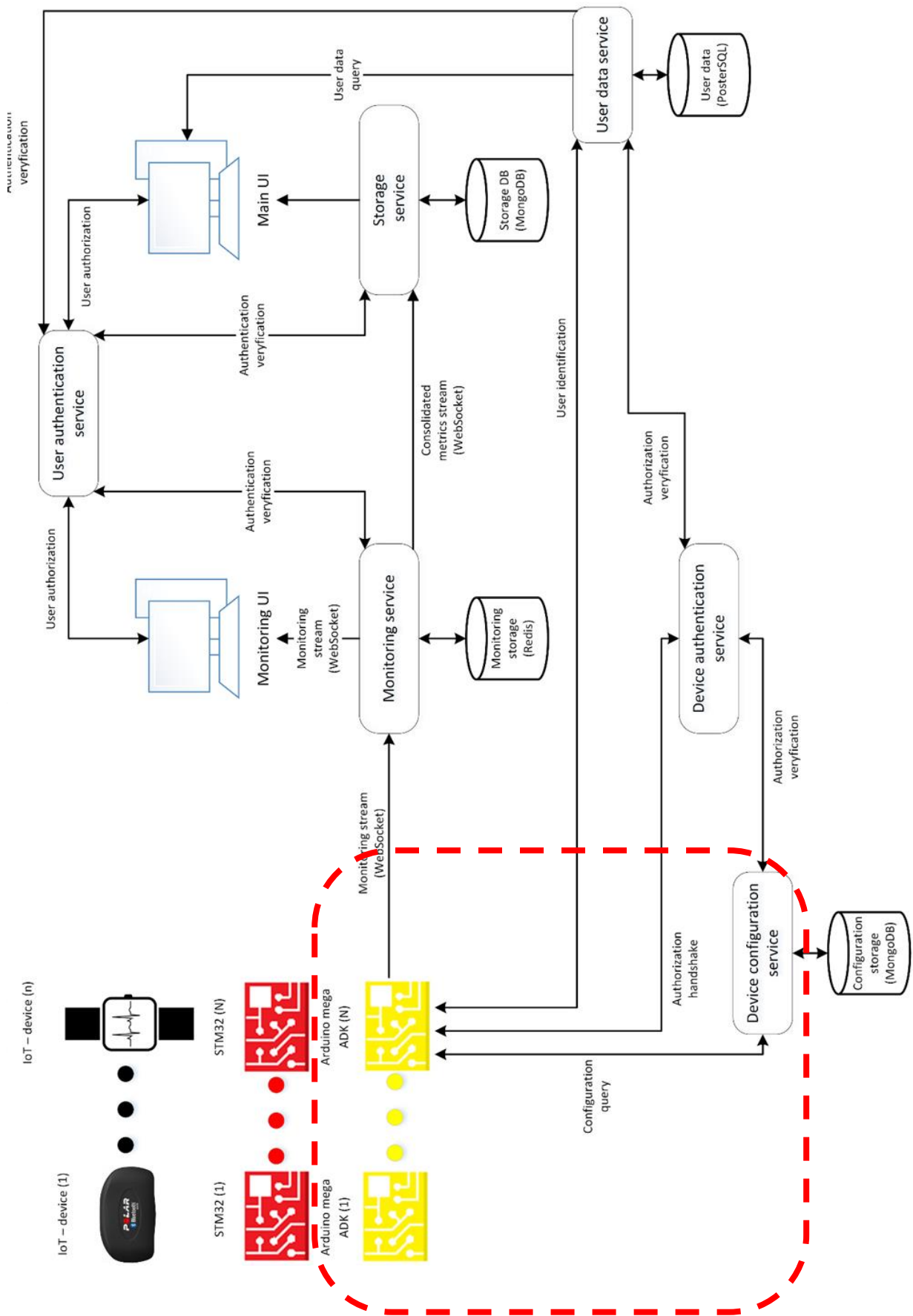


Рисунок 1 – Архітектура сервісів ІСНІАКК

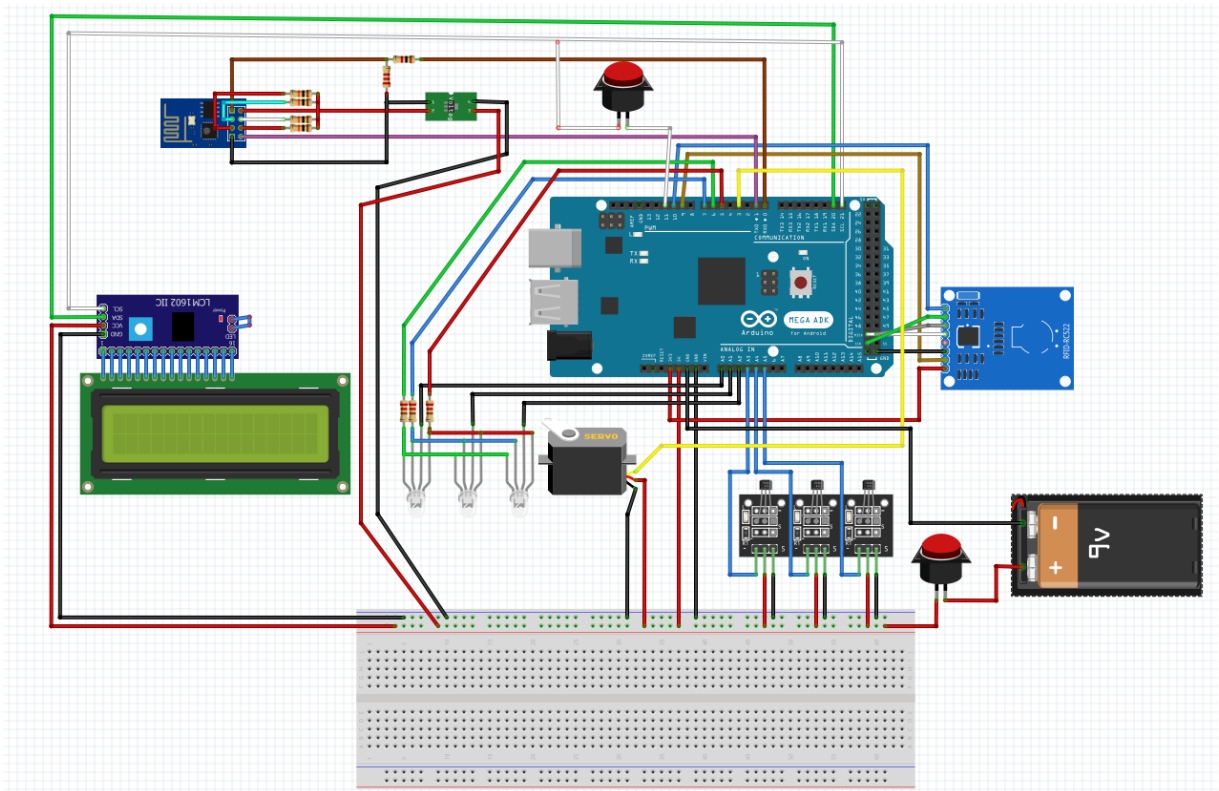


Рисунок 2 – Макетування з'єднання модулів ДТ-приладів  
у програмі Fritzing v. 0.9.3

У **третьому розділі** бакалаврської роботи проведено розробку апаратної частини та програмування програмних скетчів для модулів платформи Arduino на мові C++. Проведено аналіз обраного середовища розробки, а саме Arduino IDE. Наведено перелік основних переваг та недоліків цього програмного застосунку. Серед недоліків відсутність автодоповнення коду, а також відсутність підтримки плагінів. Вибір середовища Arduino IDE обумовлений досить високою сумісністю з апаратною частиною.

Досліджено бібліотеки, котрі були використані у ході розробки. Проведено аналіз функцій бібліотек, а також наведено приклади використання деяких із них.



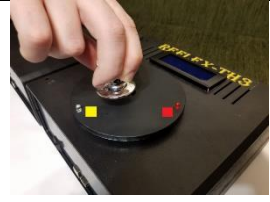




У **четвертому розділі** описано підготовку експериментів та оцінку ефективності результати тренувань за модифікованою шкалою спастичності Ешворта – Modified Ashworth Scale (MAS) – або за неперіодичністю часового ряду результатів тренувань протягом однієї сесії.



Тренувальний прилад «Reflex – ТТЗ» на основі сенсорних датчиків дотику виконаний на платформі Arduino за схемотехнічними рішеннями, описаними вище для приладу «Reflex – ТНЗ». Однакова конструкція всіх приладів серії «Reflex – Тхх» дозволяє здійснювати зміну робочої зони – або на датчиках Холла, або на датчиках дотику – на корпусі тренувального приладу.

Послідовність виконання тренувальних тестів на «Reflex – ТТЗ» аналогічна описаній для «Reflex – ТНЗ», тільки дія виконується шляхом дотику замість магнітного інструменту – тобто, безпосередньо пальцем оператора, що навчається, до маркованої RGB-площадки відповідного кольору після загоряння RGB-світлодіода (табл. 1).

Таблиця 1 – Вибір пальцю (групи пальців) для тренування та необхідного типу датчиків в залежності від шкали спастичності Ешворта

Кількість пальців для тренування	1	2	3	4
Позиція пальців під час тренування				
Магнітний інструмент	Не потрібний			
Тип датчика	Сенсорний	Холла	Холла	Холла
Стартові бали за шкалою MAS	2–3	1–2	1–2	від 1+ до 2
Фінішний бал за шкалою MAS	1+	0	0	1

Для оцінювання ефективності використання навчально-тренажерного комплексу на основі платформи Arduino використовується шкала спастичності Ешворта – Modified Ashworth Scale (MAS). Якщо фінішний бал за шкалою MAS не перевищує або менше ніж стартовий (див. два останніх рядка табл. 1), то використання навчально-тренажерного комплексу на базі ДТ-приладів можна вважати ефективним. Інакше за допомогою програмного забезпечення необхідно змінити параметри тренувань або перекалібрувати датчики.

Заміна робочого поля ТНЗ на ТТЗ не потребує змін у програмному коді тренувального приладу «Reflex – ТТЗ».

На початку тестування розроблене програмно-апаратне забезпечення подає на робочу зону ДТ-приладу «Reflex-Тхх» запрограмовану серію з 20 світлових імпульсів з інтервалом 1,5 с. У випадку високого рівня спастичності за шкалою MAS, або в результаті стаціонарності процесу навчання персоналу, цей інтервал може бути збільшеним до 3 с (з кроком 500 мс) за допомогою кнопки справа від LCD-екрана на корпусі ДТ-приладу.

В межах однієї сесії виконується не більше 5 спроб. Спроби повторюються з перервами між ними у 10 секунд.

У **спеціальній частині** бакалаврської роботи «**Охорона праці**» визначено, що питання безпеки на підприємствах та охорони праці є актуальними для всіх галузей, у т. ч. у сфері інформаційних технологій.

В розділі розглянуті несприятливі чинники, що впливають на роботу працівника. Особливо значний негативний вплив має робота дисплея, спектр випромінювання якого включає в себе рентгенівську, ультрафіолетову і інфрачервону області, а також широкий діапазон електромагнітних хвиль.

Розглянуті загальні характеристики процесу розробки, виявлені небезпечні і шкідливі виробничі фактори, що впливають на розробника в процесі. Проведені розрахунки освітлення в офісному приміщенні показали, що для задовольняючого нормам освітлення, необхідно встановити у приміщенні чотири лампи потужністю не менше ніж 40 Вт. Дотримання умов дозволить зберегти необхідну працездатність програміста протягом усього робочого дня.

## ВИСНОВКИ

В ході виконання дипломної роботи виконано всі поставлені завдання для розробки діагностувально-тренажерних приладів.

Створення прототипів пристроїв взаємодії людини з комп'ютером, літальними апаратами, роботами, відстеження рухів людини і визначення орієнтації складних технічних об'єктів – це ключовий аспект корисності навчально-тренажерного комплексу у цілому. Можливість нарощування функціоналу та взаємозаміни робочої зони ДТ-апаратів розробленої серії «Reflex – Тхх» робить такі прилади хорошим вибором для прототипування пристроїв для взаємодії «людина – складний об'єкт керування».

Під час дипломної роботи виконані такі завдання:

- 1) проведено аналіз існуючого програмно-апаратного забезпечення навчально-тренажерних комплексів;
- 2) виконано проектування та програмно-апаратна реалізація серії малогабаритних ДТ-приладів на основі платформи Arduino;
- 3) проведено експериментальні дослідження програмно-апаратного забезпечення тестування розробленої серії ДТ приладів «Reflex–Тхх» на основі датчиків Холла та сенсорів;
- 4) визначено критерії оцінювання ефективності використання ДТ-приладів у складі НТАКК.

Таким чином, в межах дипломної роботи створено програмно-апаратне забезпечення оцінювання ефективності використання розроблених дослідних зразків інтерактивних ДТ-приладів на основі датчиків Холла та сенсорних кнопок у складі навчально-тренажерного та аналітично-консультативного комплексу (НТАКК) військово-цивільного призначення. Реалізована та перевірена можливість передачі інформації на інші мікросервіси НТАКК при використанні відкритих каналів зв'язку.

Робота пройшла **апробацію** на двох Міжнародних та на Всеукраїнській наукових конференціях, одна з чотирьох **публікацій** проіндексована у базі

*Scopus*. За результатами представлення різних частин роботи на трьох конкурсах (одному Міжнародному та двох Всеукраїнських, на всіх представлені рішення відмічені призовими місцями) опубліковано главу в англomовній колективній монографії «*Black Sea Science 2020*».

Результати роботи **впроваджені** у НДР ЧНУ ім. Петра Могили «Розроблення найсучаснішого інтерактивного навчально-тренажерного та аналітично-консультативного комплексу військово-цивільного призначення» (№ держ. реєстрації 0118U000193, 2018–2019 рр., наук. керівник проф. Фісун М. Т.), що підтверджено відповідним Актом впровадження.

У подальшому, при розвитку проекту, доцільно в першу чергу приділити увагу оптимізації програмного коду безпосередньо для компонентів платформи Arduino: аналізу використання змінних відповідних типів, переходу від дій з числами з плаваючою точкою до цілочисельного типу, заміну ділення і зведення в ступінь – множенням, заміну Arduino-функцій на пряму роботу з портами і т. п. Такий підхід дозволить зберегти мінімальну вартість апаратного забезпечення і таким чином здійснювати витрати на розширення парку пристроїв, збільшуючи тим самим кількість персоналу.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ

1. Shurbin V., Hnesdilov M., Zhuravska I., Boiko A., **Polianichkin V.**, Burenko V. Hardware-Software Complex to Diagnostic and Rehabilitation the Patients with Damages of Cervical-Thoracic Spine and Hand Nerves. *Electronics and Nanotechnology (ELNANO)* : Proc. of the 2020 IEEE 40th Int. Conf., Kyiv, Ukraine, Apr. 22–24, 2020 / Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute. P. 493–498. DOI: 10.1109/ELNANO50318.2020.9088866. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9088866>. **Scopus EID: 2-s2.0-85086303373**.
2. Hnezdilov M., **Polianichkin V.**, Shurbin V., Zhuravska I., Davydenko Ye. Hardware-software complex to restore finger movement coordination and color perception. *In book: Black Sea Science 2020* / B. Yegorov, M. Mardar (eds.) [et al.]. Odessa : ONAFT, 2020. P. 363–376.

3. Буренко В. О., **Полянiчкiн В. Г.** Програмно-апаратне забезпечення оцiнювання ефективностi використання навчально-тренажерного комплексу на основi платформи Arduino. *Могiлянськi читання – 2019* : тези доп. XXII Всеукр. наук.-метод. конф. Миколаiв, 11–16 листоп. 2019 р. Миколаiв : Вид-во Чорном. нац. ун-ту iм. Петра Могили, 2019. С. 117–120.

4. **Полянiчкiн В. Г.**, Буренко В. О., Журавська I. М. Програмне забезпечення з вiдкритим кодом на базi ARDUINO IDE для апаратiв безконтактної рефлексодiагностики. *Free and Open Source Software (FOSS'2019)* : тези доп. XI Мiжнар. наук.-практ. конф. / Харкiв. нац. ун-т будiвництва та архiтектури, Харкiв, 19–21 листопада 2019 р. Харкiв : Вид-во ХНУБА, 2019. С. 65. URL: <https://foss.kn-it.info/uploads/foss-2019-theses.pdf>

## АНОТАЦIЯ

**Полянiчкiн Володимир Геннадiйович. Програмно-апаратне забезпечення оцiнювання ефективностi використання навчально-тренажерного комплексу на основi платформи Arduino.** – На правах рукопису.

Бакалаврська квалiфiкацiйна робота на здобуття освiтньої квалiфiкацiї «Бакалавр з iнженерiї програмного забезпечення». – Чорноморський нацiональний унiверситет iменi Петра Могили, Миколаiв, 2020.

Робота присвячена дослiдженню ефективностi програм тренувань з використанням розроблених малогабаритних дiагностично-тренувальних (ДТ) приладiв на основi мiкропроцесорних систем.

**Об'єктом дослiдження** є процес тренування дiй операторiв складних технiчних систем, що виконуються натискуванням пальцями рук.

**Предметом дослiдження** є дiагностично-тренувальнi прилади (надалi ДТ-приладiв) НТАКК, заснованi на датчиках рiзних типiв, та програмне забезпечення («скетчi») модулiв ДТ-приладiв на платформi Arduino.

**Метою роботи** є підвищення ефективності навчання операторів складних технічних систем за рахунок розробки програмно-апаратного забезпечення навчально-тренажерного комплексу на основі платформи Arduino.

Для досягнення мети вирішені такі **завдання**: проведено аналіз існуючого програмно-апаратного забезпечення навчально-тренажерних комплексів; виконано проектування та програмно-апаратна реалізація серії малогабаритних ДТ-приладів на основі платформи Arduino; проведено експериментальні дослідження програмно-апаратного забезпечення тестування розробленої серії ДТ приладів «Reflex–Тхх» на основі датчиків Холла та сенсорів; визначено критерії оцінювання ефективності використання ДТ-приладів у складі НТАКК.

**Методами дослідження** є аналіз, проектування та алгоритмізація рішень, програмне кодування прошивок модулів, тестування. Метод середнього ковзного застосований для оцінки ефективності тренувань.

Матеріали роботи пройшли **апробацію** на Всеукраїнській та на двох Міжнародних наукових конференціях, одна з **чотирьох публікацій проіндексована у базі Scopus**. За результатами апробації різних частин роботи на трьох конкурсах студентських наукових робіт (одному Міжнародному та двох Всеукраїнських, на всіх представлені рішення відмічені призовими місцями) *опубліковано главу в англomовній колективній монографії «Black Sea Science 2020»*.

**У першому розділі** представлено аналіз існуючого програмно-апаратного забезпечення операторських пультів навчально-тренажерних та аналітично-консультативних комплексів (НТАКК). **У другому розділі** описано особливості роботи ДТ-приладів у складі єдиної ІС НТАКК, побудованої за мікросервісною архітектурою, обґрунтований вибір апаратних компонентів для розробки серії ДТ-приладів серії «Reflex-Тхх», проведено макетування приладів у програмі з вільним доступом Fritzing v. 0.9.3. **У третьому розділі** проведено розробку програмно-апаратної системи ДТ-приладів у складі НТАКК на основі платформи Arduino. **В четвертому розділі** описана

підготовка експериментів та результати тренувань, визначені критерії ефективності використання ДТ-приладів у складі НТАКК.

За результатами роботи зроблені висновки до кожного з розділів.

Робота складається зі вступу, 4 розділів, висновків та 4 додатків; містить \_\_\_ таблиці, \_\_\_ рисунки, 29 літературних джерел. Загальний обсяг дипломної роботи складає \_\_\_\_ сторінок (без додатків).

***Ключові слова:** навчально-тренажерний комплекс, пульт керування, діагностично-тренувальний прилад, платформа Arduino, датчик дотику, датчик Холла, ефективність використання, нестационарний процес, модифікована шкала спастичності Ешворта.*

## ABSTRACT

**Polianichkin Volodymyr Hennadiiovych. Software and hardware for evaluating the effectiveness of the studying and training complex based on the Arduino platform.** – On the rights of the manuscript.

Bachelor's work for obtaining an educational qualification "Bachelor of Software Engineering". – Petro Mohyla Black Sea National University, Mykolaiv, 2020.

The Bachelor's work is devoted to the research of the training program effectiveness using small diagnostic and training (DT) devices based on microprocessor systems.

The work is devoted to the study of the effectiveness of training programs using the developed small diagnostic and training (DT) devices based on microprocessor systems.

The object of research is the process of training the actions of operators of complex technical systems, which are performed by pressing with the fingers.

The subject of the study are diagnostic and training devices (hereinafter DT-devices) NTACK, based on sensors of different types, and software ("sketches") modules of DT-devices on the Arduino platform.

The aim of the work is to increase the efficiency of training of operators of complex technical systems through the development of software and hardware of the training complex based on the Arduino platform.

To achieve this goal, the following tasks were solved: an analysis of the existing software and hardware of educational and training complexes; design and software and hardware implementation of a series of small DT devices based on the Arduino platform; experimental research of software and hardware testing of the developed series of DT devices "Reflex-Txx" on the basis of Hall sensors and sensors was carried out; criteria for evaluating the effectiveness of the use of DT devices in the STACC are defined.



Research methods are analysis, design and algorithmization of solutions, software coding of module firmware, testing. The average sliding method is used to assess the effectiveness of training.

The materials of the work were tested at the All-Ukrainian and at two International scientific conferences, one of the four publications was indexed in the Scopus database. Based on the results of approbation of different parts of the work at three competitions of student research papers (one International and two All-Ukrainian, all presented decisions were awarded prizes), a chapter was published in the English-language collective monograph "Black Sea Science 2020".

The first section presents an analysis of the existing software and hardware of the operator consoles of training and analytical and analytical-consulting complexes (STACC). The second section describes the features of DT-devices as part of a single IS NTACK, built on microservice architecture, justified the choice of hardware components for the development of a series of DT-devices series "Reflex-Txx", layout of devices in the program with free access Fritzing v. 0.9.3. In the third section, the software and hardware system of DT devices as part of NTACC based on the Arduino platform was developed. The fourth section describes the preparation of experiments and training results, defines the criteria for the effectiveness of the use of DT devices in the STACC.

Based on the results of the work, conclusions are made to each of the sections. The work consists of an introduction, 4 chapters, conclusions, \_\_\_ tables, \_\_\_ figures, 28 references and 4 appendices. The total volume of the thesis is \_\_\_ pages.

**Keywords:** *studying and training complex, control unit, diagnostic and training device, Arduino platform, touch sensor, Hall sensor, non-stationary process, Modified Ashworth scale of muscle spasticity.*