

DOI: 10.32347/2412-9933.2024.59.165-173

УДК 378.016:53

Луценко Вадим Юрійович

Кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматизації технологічних процесів,

<https://orcid.org/0000-0002-9727-5574>

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

Запривода Андрій Віталійович

Кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри автоматизації технологічних процесів,

<https://orcid.org/0000-0001-9171-9325>

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

Гаврюков Олександр Володимирович

Доктор технічних наук, професор кафедри автоматизації технологічних процесів,

<https://orcid.org/0000-0002-6377-4180>

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

Бондарчук Ольга Вячеславівна

Кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматизації технологічних процесів,

<https://orcid.org/0000-0003-1893-1893>

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

Точиліна Тетяна Миколаївна

Кандидат педагогічних наук, доцент кафедри медичної фізики, біофізики та вищої математики,

<https://orcid.org/0000-0002-4886-9720>

Запорізький державний медико-фармацевтичний університет, Запоріжжя

Філіпенко Ірина Іванівна

Кандидат педагогічних наук, доцент кафедри токсикологічної та неорганічної хімії,

<https://orcid.org/0000-0002-6668-2599>

Запорізький державний медико-фармацевтичний університет, Запоріжжя

ВИВЧЕННЯ РОБОТОТЕХНІКИ МЕТОДАМИ ДИСТАНЦІЙНОГО НАВЧАННЯ В УМОВАХ КРИЗОВИХ ОБМЕЖЕНЬ

Анотація. Інтенсивний розвиток інформаційних технологій та їх застосування на виробництві обумовлює неперервне зростання вимог до рівня теоретичної і практичної підготовки фахівців у галузі автоматизації технологічних процесів. Вирішення цієї проблеми потребує застосування комплексного підходу до організації навчання, що передбачає розроблення нових методів і методик викладання, а також постійну актуалізацію навчальних матеріалів. Аналіз практичного досвіду викладання за таких умов дає змогу виокремити особливий напрям в освіті, що поєднує методи наукових досліджень, технологій, інженерних навичок та математичні знання, і має назву STEM-освіти. Реалізувати повною мірою інтегральний характер STEM-підходу вдається в ході вивчення робототехніки. Розробка робототехнічних засобів поєднує елементи механіки, електроніки, теорії машинобудування, вимірювання, програмування, автоматизованого управління, інформаційно-комунікаційних технологій. Викладання робототехніки на інженерних спеціальностях сприяє підвищенню загального рівня підготовки, розвитку творчих здібностей і комунікаційних навичок. Традиційно під час вивчення робототехніки значна частина часу приділяється роботі з обладнанням, проте спочатку карантинні обмеження, а зараз обмеження, що пов'язані з веденням бойових дій, обмежують можливості такого доступу. Логічним вирішенням цієї ситуації є організація освітнього процесу в дистанційній формі. У роботі обґрунтовано необхідність доповнення й узгодження методів дистанційної освіти з урахуванням культурно-психологічних та соціологічних чинників, обумовлених веденням бойових дій. Пропонується розширити курс основ робототехніки тематикою, що розглядає теорію і практичне застосування концептуального моделювання в проектуванні робототехнічних систем та комплексів. Проаналізовано й аргументовано можливість проведення практичних і лабораторних занять на базі on-line платформ Tinkercad Circuits та WokWi. Запропоновано приклади, що демонструють потенціал і можливості застосування цього програмного забезпечення сумісно з методами концептуального моделювання.

Ключові слова: дистанційна освіта; STEM-технології; робототехніка; концептуальне моделювання; проектування; контролер; периферійний пристрій, віртуальна модель

Вступ

Підготовка інженерних кадрів завжди була непростю, комплексною задачею, розв'язання якої потребує органічного поєднання фундаментальних знань, творчого підходу та практичного досвіду. А стрімкий розвиток науково-технічного прогресу, що супроводжується появою і розповсюдженням інформаційно-комунікаційних технологій, робить цей процес ще більш вибагливим та багатомірним.

Впровадження інформаційно-комунікаційних технологій у навчальний процес має незворотний вплив на функціонування і розвиток освіти, виводячи її на абсолютно новий якісний рівень. Застосування обчислювальної техніки уможливорює ефективно реалізувати нові фізичні експерименти або демонстрації, додавати наочності математичним викладкам та моделям, проводити моделювання складних технічних систем та технологічного обладнання. Розроблення нових методик навчання із застосуванням комп'ютерної техніки поступово переросло в новий напрям в освіті – STEM-навчання [1].

STEM-методи навчання реалізують комплексний підхід, що передбачає інтеграцію результатів наукових досліджень, сучасних технологій, інженерних навичок та математичних знань. Таке об'єднання обумовило високу ефективність, наочність та актуальність навчальних методик цього напрямку [1].

Одним із цікавих і наочних прикладів ефективного застосування методів STEM-навчання є вивчення робототехніки. Це комплексна дисципліна, що поєднує елементи механіки, електроніки, теорії машинобудування, вимірювання, програмування, автоматизованого управління, інформаційно-комунікаційних технологій [2].

Вивчення освітньої робототехніки передбачає активну взаємодію з програмно-апаратними робототехнічними платформами, що обґрунтовує доцільність проведення саме аудиторних занять, де групи студентів можуть командно працювати над навчальними задачами, сумісно використовуючи наявне обладнання. Водночас зовнішні та внутрішні чинники і виклики в житті нашого суспільства, що відбуваються останнім часом, об'єктивно і обґрунтовано зміщують актуальність викладання цієї дисципліни в напрямі дистанційної освіти та пошуку можливостей її вивчення із залученням віртуальних моделей необхідного технічного забезпечення.

Мета роботи

Метою проведеного дослідження є вдосконалення методів викладання основ освітньої робототехніки серед студентів інженерних спеціальностей, що навчаються дистанційно в умовах часткових обмежень доступу до освітніх ресурсів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Проблемам розвитку дистанційної освіти в цілому та викладанню робототехніки зокрема присвячено достатньо багато досліджень, проведених як закордонними, так і вітчизняними дослідниками. Так, К. Harting, М. Erthal в роботі [3] вивчали й аналізували основні тенденції розвитку дистанційної освіти, а в роботі [4] Н. Kentnor розглянув особливості впровадження online освіти в США.

Результати й обговорення проблем дистанційного навчання у вітчизняному освітньому просторі наведено в роботах [5; 6], де особливу увагу приділено ідеям та теоретичним засадам дистанційного навчання з урахуванням особливостей національної освітньої системи.

У роботі [7] автори досліджують основні моделі дистанційного навчання, а в роботі [8] зроблено спробу аналізу ефективності освітніх технологій в умовах дистанційної освіти з акцентом на викладання у вищій школі.

Дослідженню й аналізу основних освітніх завдань, що вирішуються під час вивчення курсу робототехніки як одного із основних напрямів розвитку STEM-освіти, присвячена робота [9]. Автори виокремлюють низку завдань освітньої робототехніки, серед яких особливе місце посідають такі: формування навичок роботи з технічними пристроями, критичного аналізу та практичного вирішення актуальних інженерно-технічних проблем; формування професійних компетентностей, що допомагають самостійно ставити цілі, шукати шляхи їх реалізації, контролювати й оцінювати свої досягнення. Окремим напрямом постає необхідність інтелектуального розвитку особистості, в т. ч. навичок та вмінь логічного, алгоритмічного та креативного мислення для розв'язування прикладних задач, інформаційної культури, пам'яті, уваги, наукової інтуїції.

Вивченню методів розроблення програмного забезпечення робототехнічних комплексів та систем присвячено роботи [10–12]. Автори досліджують ефективність застосування гейміфікації, прикладів з промисловості, математичного моделювання для засвоєння і розвитку навичок з програмної інженерії, як одного із головних напрямів розроблення складних технічних систем.

Дослідженню проблеми вивчення концепцій та методів програмної інженерії методами концептуального моделювання присвячена робота [13].

Із прикладом досвіду викладання концептуального моделювання можна ознайомитися

в роботі [14], де Buchmann et al. особливу увагу приділяють вивченню й ідентифікації шести типових необґрунтованих спрощень, які роблять студенти, коли йдеться про концептуальне моделювання і його застосування в навчальному процесі. Подальшого розвитку це дослідження набуло в роботі [15], в якій автори пропонують компромісну методику, що включає певні спрощені моделі, і в той же час допомагає досягти глибокого розуміння багатьох парадигм програмування.

Цікаве дослідження проведене М. Shaw в роботі [16], в рамках якого звертається увага на зростання частини і ролі програмного забезпечення в технологічних процесах, що своєю чергою запускає процеси трансформації підходів до його розроблення, і разом із тим формує актуальні вимоги до фахівців в промисловій галузі. Отже, автор обґрунтовує необхідність модернізації змісту професійної підготовки спеціалістів з інформаційних технологій.

Ґрунтовний аналіз викладання основ концептуального моделювання студентам, що проходили курс бакалаврської підготовки із робототехніки, представлено в дослідженні [17]. Дослідження проведено методом інтерв'ю з метою вивчення сприйняття студентами основ інженерії програмного забезпечення та концептуального моделювання. На думку авторів знайомство з методами концептуального моделювання суттєво сприяє поглибленому розумінню основних ідей програмної інженерії, покращенню і розвитку навичок абстрактного мислення, плануванню та комплексній розробці програмного забезпечення робототехнічних систем.

Виклад основного матеріалу

Вже зараз із впевненістю можна констатувати наявність протиріччя між можливостями використання інформаційно-технологічних ресурсів і традиціями класичної педагогіки вищої школи. Послабити його прояви намагаються шляхом створення та вдосконалення адекватного потребам суспільства і функціонуючого на базі сучасних інформаційно-комунікаційних технологій автоматизованого інформаційного освітнього простору.

Актуальність такого підходу набула особливої переконливості під час масової ізоляції населення в період пандемії COVID-19 і зараз, коли масштабні бойові дії суттєво обмежують доступ до освітнього процесу та освітніх ресурсів.

За таких умов обґрунтованим рішенням є перехід до дистанційної або, за можливості, змішаної форми навчання.

Методологія сучасної дистанційної освіти виокремлює два основних режими організації

навчального процесу – асинхронний та синхронний [1]. У рамках концепції синхронного дистанційного навчання передбачається сумісне перебування викладача і слухачів в електронному освітньому середовищі, в якому відбувається спілкування за допомогою засобів аудіо- та відеоконференції. Для асинхронного режиму характерною рисою є взаємодія між учасниками із затримкою в часі. У цьому разі інформаційний обмін здійснюється з використанням інтерактивних освітніх платформ, електронної пошти, форумів, соціальних мереж.

Вважається, що завдяки цим особливостям асинхронного режиму можна досягти високого рівня гнучкості та індивідуалізації дистанційного навчання. Проте пошук засобів і шляхів ефективної взаємодії із здобувачами освіти, адаптування традиційних методик викладання до умов дистанційної освіти, нерівність у технічному забезпеченні, володінні цифровими технологіями учасників навчального процесу обумовлюють необхідність розроблення комплексу заходів, що поєднують асинхронний та синхронний режим навчання.

Аналіз організації і проведення дистанційного навчання в умовах обмежень воєнного стану уможливили виявити низку додаткових умов та особливостей, що потребують вирішення або врахування:

- підвищена тривожність учасників освітнього процесу;
- потреба в коригуванні емоційного та психологічного стану;
- перебування частини студентів і викладачів на територіях ведення бойових дій або тимчасово окупованих територіях;
- від'їзд і перебування частини студентів і викладачів за кордоном;
- перебування учасників освітнього процесу у відносній безпеці, проте відсутність доступу до інтернет-покриття або необхідних технічних засобів;
- перерви в заняттях обумовлені повітряними тривогами та необхідністю перебування в укриттях;
- втрата деякими закладами освіти своєї матеріально-технічної бази;
- активне волонтерство викладачів і студентів;
- необхідність оптимізації навчальних матеріалів для відображення на мобільних пристроях.

Крім зазначених чинників, слід відзначити появу певних змін у контингенті здобувачів вищої освіти. У цьому плані можна виокремити декілька груп, що сформувалися в студентському середовищі:

- студенти, які перебувають удома і мають необхідні технічні засоби для навчання, проте змушені постійно переходити на час повітряних тривог до бомбосховища;

– студенти, які перебувають не вдома, але на території України, внаслідок чого не мають звичних для навчання умов та обставин. Серед здобувачів цієї категорії спостерігаються ознаки більш активного спілкування, що, вірогідно, може сприяти більш спокійному емоціональному стану;

– студенти, які виїхали за кордон. Аналіз спілкування з ними свідчить, що значний відсоток із них перебуває в стані перманентного стресу. Багато з них вказують як основні причини погіршення емоційного здоров'я наявність мовного бар'єру, високі навчальні навантаження, пов'язані із дистанційною освітою в Україні та необхідністю відвідування мовних курсів та місцевих закладів освіти; у деяких випадках виникають ситуації, що спричиняють появу відчуття й асоціації себе з «непроханими гостями».

Відзначимо необхідність урахування появи таких груп, динамічної зміни їх складу, присутності на заняттях та складності прогнозування рівня їх знань під час організації навчального процесу.

Аналіз розглянутих вище проблем став вихідним пунктом у розробці низки заходів із модифікації курсу робототехніки, що викладається студентам інженерних спеціальностей, пов'язаних із автоматизацією технологічних процесів. Основною ідеєю запропонованих змін стало включення до переліку тем, що підлягають вивченню, основ концептуального моделювання й орієнтація на застосування on-line програмних засобів емуляції апаратних засобів робототехніки. Ефективність такого підходу обговорювалась у багатьох роботах [14 – 17], проте досліджень його впровадження в умовах сучасних вітчизняних реалій майже не проводилось.

На початковому етапі проектування робототехнічної системи доцільним буде сформулювати її задум – концепцію. Практика показує, що на цьому етапі формулювання початкового задуму системи відбувається доволі абстрактно – переважно на рівні загальних понять. При цьому чим масштабніша і складніша система, що проектується, тим вище має бути рівень використовуваної абстракції.

Одним із ефективних способів розв'язання подібних задач є підхід, що базується на методах концептуального моделювання, яке являє собою процес створення абстракцій та уявлень про систему на високому рівні абстракції, спрямованих на розуміння її структури, функціональності і взаємодії компонентів.

Застосування методології концептуального моделювання у процесі розроблення робототехнічних систем дає змогу навести низку окремих напрямів проектування.

1. Розроблення структури роботів:

– створення концептуальних моделей для представлення структури роботів, включаючи їхні механічні компоненти, електроніку та датчики;

– візуалізація основних елементів, таких як мотори, датчики, актуатори, їх розташування та взаємодії.

2. Моделювання руху та кінематики робота:

– використання концептуального моделювання для пояснення принципів руху роботів та їхньої кінематики;

– створення візуальних схем, що пояснюють різні типи рухів, такі як поступальний, обертальний, їх комбінації тощо.

3. Розроблення алгоритмічного забезпечення роботів:

– ілюстрація алгоритмів програмування роботів за допомогою концептуальних моделей;

– візуалізація послідовності дій, умов та циклів у програмах для роботів.

4. Сенсорика й опрацювання даних:

– моделювання роботи різних типів датчиків, їх функцій та принципів роботи;

– візуалізація процесу збирання та опрацювання даних із датчиків для вироблення керуючих сигналів.

5. Моделювання роботи систем управління:

– розроблення концептуальних моделей систем управління роботами, включаючи контролери та програмне забезпечення;

– візуалізація обміну даними між різними рівнями системи управління.

6. Проектування механічних систем:

– використання концептуальних моделей для представлення механічних компонентів роботів;

– візуалізація принципів роботи механізмів, механічних з'єднань та схем передачі руху.

7. Робота з комплексними робототехнічними системами:

– розроблення моделей для пояснення роботи складних робототехнічних систем, наприклад, мультироботних систем або роботів, що взаємодіють з іншими технологіями.

Розглянуті принципи концептуального моделювання були враховані в процесі розроблення курсу з вивчення основ робототехніки серед студентів, що вивчають автоматизацію та комп'ютерно-інтегровані технології.

Структура розробленого курсу включає лекційні та лабораторні заняття. Під час лекційних занять відбувається ознайомлення студентів з теоретичними основами робототехніки, а виконання лабораторних робіт має на меті розвиток практичних навичок проектування апаратного та програмного забезпечення роботів.

Апаратна база лабораторного практикуму ґрунтується на платформі Arduino (Arduino Nano, Arduino Mega 2560) та ESP 32, що обумовлено їхньою низькою вартістю та доступністю на ринку. Ці плати характеризуються достатньо широким набором периферійних пристроїв, таких як таймери-лічильники, АЦП, USART, GPIO [18]. У випадку використання ESP 32 користувач отримує крім 32-х розрядного процесора з аналогічними периферійними пристроями ще й Wi-Fi модуль, що робить цей пристрій популярною складовою інтернету-речей [19].

Розроблений лабораторний практикум складається з п'яти робіт, що ґрунтується на використанні платформи Arduino та трьох робіт – на ESP 32. Перша робота «Дослідження роботи сервоприводу» присвячено ознайомленню з інтегрованим середовищем програмування, будовою і принципом роботи сервоприводу та можливостями спеціалізованої бібліотеки для управління серводвигунами Servo, що входить до складу Arduino IDE. У цій роботі пропонується розглянути бібліотечний метод `Write()`, за допомогою якого здійснюється поворот вала серводвигуна на заданий кут [18]. Слухачам пропонується самостійно розробити програмний модуль, що забезпечить автоматичний поворот вала сервоприводу на заданий кут та покрокове проходження всього робочого діапазону. Отримані результати в подальшому дають змогу побудувати калібрувальну криву та оцінити похибки позиціонування вала сервопривода.

У наступній лабораторній роботі слухачі ознайомлюються ще з одним методом, що забезпечує поворот вала – `writeMicroseconds()`. Цей метод належить до низькорівневих методів і, вірогідно, може забезпечити більш високу точність позиціонування вала сервопривода. Пропонується перевірити цю гіпотезу, використовуючи підхід із попередньої роботи.

Більшість сервоприводів допомагають визначити кут повороту вала за допомогою вбудованого датчика повороту. Бібліотека Servo надає для цього окремий метод – `read()`, який можна використати при написанні програмного коду, що реалізує процес навчання робота. Ознайомленню з основними принципами та методами навчання роботів присвячена остання лабораторна робота, що виконується на платформі Arduino.

У наступних лабораторних роботах слухачам пропонується ознайомитися з прийомами підключення до наявної Wi-Fi мережі та провести її сканування. На фінальному занятті розглядаються принципи організації управління робототехнічною системою через Web-інтерфейс. Як приклад можна використати сервопривід, керування яким буде здійснюватися з використанням Wi-Fi зв'язку.

Окрема увага в рамках розроблених лабораторних робіт приділяється прийомам проектування та налаштування програмного забезпечення, що передбачає передавання в ЕОМ верхнього рівня діагностичної інформації з використанням послідовного інтерфейсу RS 232.

Розроблення лабораторного практикуму проводилося з урахуванням можливості його виконання із залученням on-line платформ, що надають можливість емуляції роботи мікроконтролера та необхідної периферії. На сьогодні є достатня кількість таких програмних продуктів: Microsoft Maker Code, Wokwi, Tinkercad Circuits, PICSimLab, SimulIDE, Proteus VSM, Virtronics. У своїй практиці нами використовується два продукти Tinkercad Circuits та Wokwi, які є безкоштовними, проте дають змогу легко проектувати власні схеми, створювати програму в блочному або текстовому форматі та емулювати її роботу.

Tinkercad Circuits – це безкоштовний онлайн-сервіс від Autodesk. Цей програмний продукт надає широку гаму периферійних пристроїв для створення та налагодження різноманітних схем. Також розробники надають достатньо велику бібліотеку готових рішень, у т. ч. і на робототехнічну тематику [20]. На рис. 1 наведено вікно Tinkercad, що містить віртуальний контролер Arduino UNO та серводвигун. Відзначимо одну з корисних можливостей цього продукту – це віртуальний осцилограф, за допомогою якого можна досліджувати і реєструвати осцилограми струмів та напруг у схемі.

Проект Wokwi вирізняється широким спектром підтримуваного обладнання: Arduino Uno, Arduino Mega, Arduino Nano, ESP32 (з можливістю програмування на Arduino C та Micropython), Raspberry Pi Pico (з можливістю програмування на Arduino C, JS та Micropython), TinyPico, Fanzinho [21]. На рис. 2 наведено вікно Wokwi, що містить віртуальну модель контролера ESP32, яка виконує функції точки доступу до мережі Wi-Fi. Проект Wokwi містить достатньо велику кількість різноманітних прикладів, які можна використати під час розроблення власних проєктів.

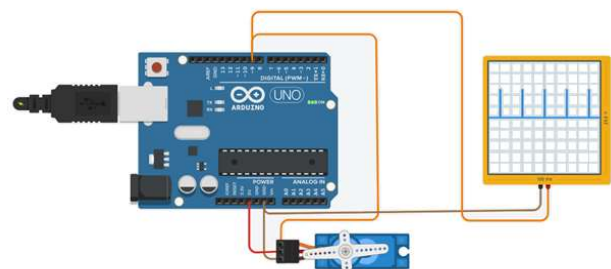


Рисунок 1 – Віртуальна модель системи управління серводвигуном в середовищі Tinkercad Circuits

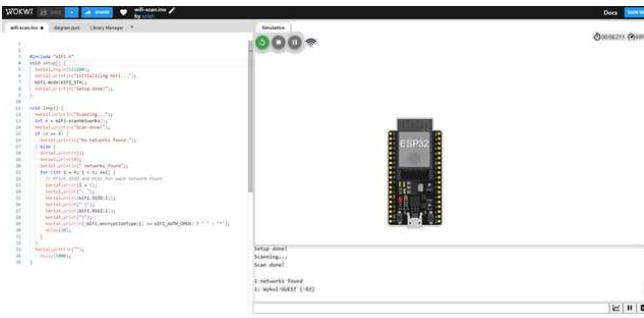


Рисунок 2 – Віртуальна модель точки доступу до Wi-Fi мережі на базі контролера ESP 32 в середовищі WokWi

У розробленому курсі «Основ робототехніки» особлива увага приділена самостійній роботі слухачів, у процесі якої пропонується самостійно ознайомитися з окремими питаннями інженерії програмного забезпечення робототехнічних систем. Організацію і планування самостійної роботи з вивчення цих питань проведено із застосуванням основ концептуального моделювання. Зокрема, розроблено методичний матеріал для ознайомлення та вивчення найбільш поширеної парадигми аналізу, проектування та програмування, в основі якої лежить об'єктно-орієнтований підхід [16]. Більшість сучасних RAD-середовищ (Rapid Application Development) побудовано з використанням саме такої концепції. У той же час, коли мова йде про розробку програмного забезпечення для мікроконтролерів на мові C, однозначної відповіді на питання про доцільність її застосування під час розроблення немає. У рамках наявних компромісних варіантів можна запропонувати спрощений підхід, для пояснення якого використовуємо таку концепцію.

Програмний код, що розробляється для мікроконтролера, можна умовно розділити на дві частини: код, який забезпечує ініціалізацію периферійних пристроїв та код для роботи з ними. У рамках такого підходу основними апаратними елементами, з яким працює програміст, є периферійні пристрої. Вони і є об'єктами, але у фізичному, так би мовити, світі. Ці об'єкти можна наділити певними характеристиками (властивостями) та виокремити їхні основні функції (методи). Зауважимо, що узагальненими діями, які можна здійснювати над периферійним пристроєм, є запис або зчитування його регістрів.

Реалізація запропонованого підходу потребує розроблення користувацьких типів даних, що будуть включати як характеристики периферійних пристроїв, так і містити посилання на необхідні функції, що відповідають за запис/зчитування. У мові C таким контейнером можуть виступати структури. Отже, на першому етапі розроблення програмного забезпечення необхідно виконати проектування структур, що міститимуть характеристики відповідних периферійних пристроїв (наприклад, швидкість та формат передавання даних по послідовному каналу, налаштування роботи АЦП тощо).

Другим етапом буде розроблення функцій, що реалізують необхідні дії (наприклад, передавання результату аналого-цифрового перетворення по послідовному каналу з використанням відповідного інтерфейсу: USART, I2C, SPI тощо).

На фінальному етапі відбувається об'єднання (своєрідна інкапсуляція) параметрів периферійних пристроїв з їхніми функціональними можливостями. У цьому випадку в якості контейнера, що буде здійснювати таке об'єднання, також можна скористатися структурою.

Викладений алгоритм проілюструємо фрагментом програмного коду.

Eman 1. Розроблення структур даних та їх ініціалізація необхідними значеннями (адреси регістрів, константи), що використовуються під час початкової ініціалізації, зчитування та запису (у нашому прикладі розглядається лише структура *devInit*, у полях якої містяться параметри *value_1, value_2* для початкової ініціалізації відповідного периферійного пристрою).

```
typedef struct devInit
{
    int param_1;
    int param_2;
} devInit;
devInit init={value_1,value_2};
```

Також на цьому етапі створюється покажчик *pointerInit* на цю структуру, що уможливить звертатися до її полів:

```
devInit *pointerInit=&init;
```

Eman 2. Результатом розробки на цьому етапі є функції, що реалізують процес ініціалізації, читання або запису периферійного пристрою. У наведеному прикладі наведено функцію *Init*, яка приймає в якості параметра покажчик типу *devInit*, що вказує на структуру з даними початкової ініціалізації і виконує необхідні дії з ініціалізації периферійного пристрою.

```
void Init (devInit *init)
{
    .....
}
```

Для включення цієї функції до складу структури, що об'єднує в собі характеристики і методи відповідного периферійного пристрою, необхідно створити покажчик відповідного типу та зв'язати його з розробленою функцією.

```
void (*fncInit)(devInit *init)=Init;
```

Eman 3. На цьому етапі розробляється і створюється екземпляр структури, що об'єднує в собі характеристики та методи відповідного периферійного пристрою.

```
typedef struct device
{
    void (*initial)(devInit *init);
    .....
} device;
device Device;
```

Наступним кроком буде зв'язування полів розробленої структури з відповідними функціями та структурами, що містять необхідні в процесі взаємодії з периферійним пристроєм дані. Наприклад, для включення функції, що відповідає за ініціалізацію периферійного пристрою, необхідно в поле структури *Device* записати покажчик на функцію *Init* з наступною передачею параметра:

```
Device.initial=Init;
Device.initial(pointerInit);
```

Отже, можна формувати структури, що будуть об'єднувати в собі дані та функції для роботи з окремими периферійними пристроями. Такий підхід частково відповідає вимогам парадигми об'єктно-орієнтованого програмування, водночас він дає змогу розробити певну структуру програмного забезпечення, забезпечити ефективний аналіз та підтримку коду, а також може бути використаний для пояснення студентам положень і концепції об'єктно-орієнтованого програмування та її реалізації під час розроблення пристроїв робототехніки на мікроконтролерах.

Висновки

Особливості життя суспільства України останнім часом (спочатку карантинні обмеження, а зараз обмеження, пов'язані з веденням бойових дій та воєнним станом) переконливо доводять актуальність та необхідність розвитку дистанційної, а за можливості – змішаної форми навчання. Організація і проведення освітнього процесу в нинішніх умовах потребує його детального опрацювання з урахуванням соціо-культурних особливостей та психо-емоційного стану учасників.

Ще однією характерною ознакою сучасного світу є стрімкий розвиток інформаційно-цифрових технологій, що супроводжується незворотними процесами трансформації в житті суспільства, результатами яких є створення нових підходів і методів навчання, особливе місце серед яких посідає STEM-освіта.

Одним із перспективних напрямів впровадження STEM-методів навчання є вивчення освітньої робототехніки.

Ефективне викладання робототехніки в умовах дистанційного навчання вдається здійснити за умови

залучення on-line платформ, що надають можливість емуляції роботи мікроконтролера та необхідної периферії. Такий підхід не потребує залучення додаткового обладнання (достатньо мати комп'ютер та можливість доступу в мережу Internet). На практиці доволі ефективними виявилися платформи Tinkercad та WokWi, розробники яких пропонують широку номенклатуру контролерів і периферійних пристроїв, що допомагає вирішити переважну більшість питань у процесі вивчення та розв'язання задач освітньої робототехніки.

Проектування робототехнічних систем потребує комплексного, системного підходу до розв'язання низки, подекуди абсолютно різнопланових задач. Спростити і скоротити процес розроблення як програмного, так і апаратного забезпечення вдається застосуванням методів концептуального моделювання. Продуктивність і перспективність такого підходу доводить і досвід навчання робототехніки. У студентів інженерних спеціальностей доволі часто виникають труднощі з розумінням базових концепцій розробки програмно-апаратного забезпечення робота чи робототехнічної системи. Вірогідно, це можна пояснити недостатнім обсягом необхідних знань і навичок. Застосування концептуального моделювання сприяє вирішенню такої проблеми завдяки перенесення активної уваги з питань програмування на аспекти розроблення та проектування програмного забезпечення. Такий підхід сприяє розвитку навичок абстрактного і критичного мислення, що є запорукою ефективного вирішення широкого спектру виробничих завдань, розроблення нових сценаріїв та алгоритмів управління, застосування шаблонів проектування. Як навчальний приклад застосування методів концептуального моделювання в процесі розроблення елементів програмного забезпечення робіт запропоновано підхід, що дає змогу реалізувати засобами мови C основні концепції об'єктно-орієнтованого підходу. Запропоновані рішення носять навчальний характер і розроблялися для сприяння глибшому розумінню основних парадигм та принципів програмування. Практичним результатом проведеного дослідження став адаптований до вимог асинхронного on-line навчання лабораторний практикум із основ робототехніки для студентів інженерних спеціальностей.

Список літератури

1. Концепція розвитку природничо-математичної освіти (STEM-освіти). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/960-2020-%D1%80#Text>
2. Інститут модернізації змісту освіти. STEM-освіта. URL: <https://imzo.gov.ua/stem-osvita/>
3. Harting K., Erthal, M. (2005). History of distance learning. *Information Technology, Learning, and Performance Journal*. –2005.– Vol. 23, Iss. 1. 35–44
4. Kentnor H. (2015). Distance Education and the Evolution of Online Learning in the United States. *Curriculum and Teaching Dialogue*. Volume 17.– 2015. – Numbers 1 & 2. 21–34. URL:https://digitalcommons.du.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1026&context=law_facpub.

5. Кухаренко В. Дистанційне навчання. Енциклопедичне видання: навч.-метод. посіб. 2007. Київ, Україна: ТОВ Редакція «Комп'ютер». URL: http://library.kpi.kharkov.ua/files/new_postupleniya/dictna.pdf.
6. Кухаренко В. М., Бондаренко В. О. (2020). Екстрене дистанційне навчання в Україні: монографія. 2020. Харків, Україна: Вид-во КП «Міська друкарня». URL: http://library.kpi.kharkov.ua/files/new_postupleniya/ekdina.pdf
7. Маятіна Н., Лисенко Т., Дмитрієнко О. Сучасні моделі дистанційного навчання. *Український педагогічний журнал*. № 2. 2021. С. 84–95. <https://doi.org/10.32405/2411-1317-2021-2-84-95>
8. Ляска О., Чаграк Н., Стриженко Т. Оцінювання ефективності технологій викладання в умовах дистанційної освіти. *Український педагогічний журнал*. № 1. 2021. С. 106–115. <https://doi.org/10.32405/2411-1317-2021-3-106-115>
9. Морзе Н. В., Струтинська О. В., Умрик М. А. Освітня робототехніка як перспективний напрям розвитку STEM освіти. *Відкрите освітнє середовище сучасного університету*. 2018. № 5. С. 178-187. URL: <http://openedu.kubg.edu.ua/journal/index.php/openedu/article/view/175/233#>
10. Alhammad M. M., Moreno A. M. Gamification in software engineering education: A systematic mapping, *Journal of Systems and Software* 141 (2018), P.131–150.
11. Wohlin C., Regnell B. Strategies for industrial relevance in software engineering education, *Journal of Systems and Software* 49 (1999), P. 125–134.
12. Gannod G. C., Burge J. E., Helmick M. T. Using the inverted classroom to teach software engineering, in: 30th Int. conference on Software Engineering, 2008, P. 777–786.
13. Daun M., Grubb A. M., Stenkova V., Tenbergen B. A systematic literature review of requirements engineering education, *Requirements Engineering* 28 (2023), P.145–175
14. Buchmann R., Ghiran A.-M., Döller V., Karagiannis D. Conceptual modelling in education: a position paper, in: 4th Workshop on Managed Complexity, 2019.
15. Buchmann R. A., Ghiran A.-M., Döller V., Karagiannis D. Conceptual modeling education as a “design problem”, *Complex Systems Informatics and Modeling Quarterly* (2019), P. 21–33
16. M. Shaw. Software engineering education: A roadmap, in: Conf. on the Future of Software Engineering, 2000, P. 371–380.
17. Manjunath M., Jesus Raja J., Daun M. How teaching conceptual modeling to robotics students changes their perception of software engineering, *CEUR Workshop Proceedings*, Vol. 3618, 2023.
18. Arduino Hardware. URL: <https://www.arduino.cc/en/hardware>
19. ESP 32. URL: <https://www.espressif.com>
20. AUTODESK Thinkercad. URL: <https://www.tinkercad.com>
21. WOKWI. URL: <https://wokwi.com>.

Стаття надійшла до редколегії 14.08.2024

Lutsenko Vadym

PhD, Associate Professor, Department of Automation of Technological Processes, <http://orcid.org/0000-0002-9727-5574>
Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

Zapryvoda Andrii

PhD, Associate Professor, Head of Department of Automation of Technological Processes, <http://orcid.org/0000-0001-9171-9325>
Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

Gavryukov Alexandr

DSc (Eng.), Associate Professor, Department of Automation of Technological Processes,
<https://orcid.org/0000-0002-6377-4180>
Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

Bondarchuk Olga

PhD, Associate Professor, Department of Automation of Technological Processes, <https://orcid.org/0000-0003-1893-1893>
Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

Tochilina Tetyana

PhD, Associate Professor, Department of Medical Physics Biophysics and Higher Mathematics,
<https://orcid.org/0000-0002-4886-9720>
Zaporizhzhia State Medical and Pharmaceutical University, Zaporizhzhia

Filipenko Iryna

PhD, Associate Professor, Department of Toxicological and Inorganic Chemistry, <https://orcid.org/0000-0002-6668-2599>
Zaporizhzhia State Medical and Pharmaceutical University, Zaporizhzhia

STUDYING ROBOTICS THROUGH DISTANCE LEARNING METHODS IN CRISIS CONDITIONS

Abstract. *The rapid development of information technologies and their application in production necessitates the continuous increase in the theoretical and practical training requirements for specialists in the field of automation of technological processes. Addressing this issue requires a comprehensive approach to organizing education, which includes the development of new teaching methods and techniques, as well as the constant updating of educational materials. Analyzing practical teaching experience under such conditions highlights a special direction in education that combines methods of scientific research, technology, engineering skills, and mathematical knowledge, known as STEM education. The full integration of the STEM approach is most effectively realized through the study of robotics. The development of robotic systems combines elements of mechanics, electronics, machine*

theory, measurement, programming, automated control, and information and communication technologies. Teaching robotics in engineering specialties enhances overall training levels, fosters creative abilities, and improves communication skills. Traditionally, a significant portion of time in robotics studies is devoted to working with equipment. However, initially due to quarantine restrictions and now due to limitations associated with ongoing hostilities, such access is restricted. A logical solution to this situation is the organization of the educational process in a remote format. This paper substantiates the need to supplement and coordinate remote education methods considering the cultural, psychological, and sociological factors influenced by the hostilities. It is proposed to expand the robotics basics course with topics covering the theory and practical application of conceptual modeling in the design of robotic systems and complexes. The possibility of conducting practical and laboratory classes based on online platforms such as Tinkercad Circuits and WokWi is analyzed and justified. A series of examples demonstrating the potential and capabilities of using this software in conjunction with conceptual modeling methods is proposed.

Keywords: distance education; STEM-technologies; robotics; conceptual modeling; designing; controller; peripheral device; virtual model

References

1. Concept of development of science and mathematics education (STEM education). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/960-2020-%D1%80#Text>
2. Institute of Modernization of the Content of Education. STEM education. URL: <https://imzo.gov.ua/stem-osvita/>
3. Harting, K., Erthal, M. (2005). History of distance learning. *Information Technology, Learning, and Performance Journal*, 23, 1, 35–44
4. Kentnor, H. (2015). Distance Education and the Evolution of Online Learning in the United States. *Curriculum and Teaching Dialogue*, 17, 1 & 2, 21–34. URL: https://digitalcommons.du.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1026&context=law_facpub
5. Kukharenko, V. M. (2007). Distance Learning. Encyclopedic edition: Education – method. manual Kyiv, Ukraine: "Computer" Editorial Office LLC. URL: http://library.kpi.kharkov.ua/files/new_postupleniya/dictna.pdf
6. Kukharenko, V., Bondarenko, V. (2020). Emergency distance learning in Ukraine: Monograph. Kharkiv, Ukraine: Publishing House of KP "City Printing". URL: http://library.kpi.kharkov.ua/files/new_postupleniya/ekdina.pdf
7. Mayatina, N., Lysenko, T., Dmytrienko, O. (2021). Modern models of distance learning. *Ukrainian Pedagogical Journal*, 2, 84–95. <https://doi.org/10.32405/2411-1317-2021-2-84-95>
8. Lyaska, O., Chagrak, N., Stryzhenko, T. (2021). Evaluation of the effectiveness of teaching technologies in the conditions of distance education. *Ukrainian Pedagogical Journal*, 106–115. <https://doi.org/10.32405/2411-1317-2021-3-106-115>.
9. Morse, N. V., Strutynska, O. V., Umryk, M. A. (2018). Educational robotics as a promising direction for the development of STEM education. *The open educational environment of a modern university*, 5, 178–187. URL: <http://openedu.kubg.edu.ua/journal/index.php/openedu/article/view/175/233#>
10. Alhammad, M. M., Moreno, A. M. (2018). Gamification in software engineering education: A systematic mapping, *Journal of Systems and Software*, 141, 131–150.
11. Wohlin, C., Regnell, B. (1999). Strategies for industrial relevance in software engineering education. *Journal of Systems and Software*, 49, 125–134.
12. Gannod, G. C., Burge, J. E., Helmick, M. T. (2008). Using the inverted classroom to teach software engineering, in: *30th Int. conference on Software Engineering*, Pp. 777–786.
13. Daun, M., Grubb, A. M., Stenkova, V., Tenbergen, B. (2023). A systematic literature review of requirements engineering education. *Requirements Engineering*, 28, 145–175
14. Buchmann, R., Ghiran, A.-M., Döller, V., Karagiannis, D. (2019). Conceptual modelling in education: a position paper, in: *4th Workshop on Managed Complexity*.
15. Buchmann, R. A., Ghiran, A.-M., Döller, V., Karagiannis, D. (2019). Conceptual modeling education as a “design problem”. *Complex Systems Informatics and Modeling Quarterly*, 21–33
16. Shaw, M. (2000). Software engineering education: *A roadmap*, in: *Conf. on the Future of Software Engineering*, 371–380.
17. Manjunath, M., Jesus Raja, J., Daun, M. (2023). How teaching conceptual modeling to robotics students changes their perception of software engineering, *CEUR Workshop Proceedings*, 3618.
18. Arduino Hardware. URL: <https://www.arduino.cc/en/hardware>.
19. ESP 32. URL: <https://www.espressif.com>.
20. AUTODESK Tinkercad. URL: <https://www.tinkercad.com>.
21. WOKWI. URL: <https://wokwi.com>.

Посилання на публікацію

- APA Lutsenko, V., Zapryvoda, A., Gavryukov, A., Bondarchuk, O., Tochilina, T. & Filipenko, I. (2024). Studying robotics through distance learning methods in crisis conditions. *Management of Development of Complex Systems*, 59, 165–173, [dx.doi.org\10.32347/2412-9933.2024.59.165-173](https://doi.org/10.32347/2412-9933.2024.59.165-173).
- ДСТУ Луценко В. Ю., Заприво́да А. В., Гаврюков О. В., Бондарчук О. В., Точиліна Т. М., Філіпенко І. І. Вивчення робототехніки методами дистанційного навчання в умовах кризових обмежень. *Управління розвитком складних систем*. Київ, 2024. № 59. С. 165 – 173, [dx.doi.org/10.32347/2412-9933.2024.59.165-173](https://doi.org/10.32347/2412-9933.2024.59.165-173).