

*Міністерство освіти і науки України*

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет*



**КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ АВТОМАТИЗАЦІЇ  
ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ  
НА ТРАНСПОРТІ ТА У ВИРОБНИЦТВІ**

**МАТЕРІАЛИ  
ВСЕУКРАЇНСЬКОЇ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ  
ЗДОБУВАЧІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ І МОЛОДИХ УЧЕНИХ**

22 листопада 2023 р.

Харків 2023

УДК 004:629:656:658

Комп'ютерно-інтегровані технології автоматизації технологічних процесів на транспорті та у виробництві. Матеріали всеукраїнської науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених. – Харків, ХНАДУ, 2023. – 320 с.

## **ОРГКОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ**

Голова

***Богомолов В.О., проф., Україна, Харків***

Заступники голови

***Дмитрієв І. А., проф., Україна, Харків***

***Ефименко О.В., проф., Україна, Харків***

***Гурко О.Г. проф., Україна, Харків***

## **ОРГАНІЗАТОР КОНФЕРЕНЦІЇ**

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Україна.

## **ЧЛЕНИ ОРГКОМІТЕТУ**

*Vera Tyrsa, PhD, Autonomous University of Baja California, Mexico*

*Безкоровайний В.В., проф., Україна, Харків, ХНУРЕ*

*Бушуєв С.Д., проф., Україна, Київ, КНУБА*

*Гавриленко В.В, проф., Україна, Київ, НТУ*

*Годлевський М.Д., проф., Україна, Харків, НТУ «ХП»*

*Гурко О.Г., проф., Україна, Харків, ХНАДУ*

*Кононенко І.В., проф., Україна, Харків, НТУ «ХП»*

*Кириченко І.Г., проф., Україна, Харків, ХНАДУ*

*Лобур М.В., проф., Україна, Львів, НУ «Львівська політехніка»*

*Невлюдов І.Ш., проф., Україна, Харків, ХНУРЕ*

*Нефьодов Л.І. проф., Україна, Харків, ХНАДУ*

*Овчаренко В.Є., проф., Україна, Харків, ХНУРЕ*

*Петренко Ю.А., проф., Україна, Харків, ХНАДУ*

*Раскін Л.Г., проф., Україна, Харків, НТУ «ХП»*

*Тимчук С. О., проф., Україна, Харків, Державний біотехнологічний університет*

*Федорович О.Є., проф., Україна, Харків, НАУ «ХАІ»*

*Харченко В.С., проф., Україна, Харків, НАУ «ХАІ»*

*Чернов С.К., проф. (Україна, Миколаїв, НУК*

## ЗМІСТ

стор.

### СЕКЦІЯ 1

<b>МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ</b>	
МОДИФІКАЦІЯ МОДЕЛІ ПРОЦЕСУ РОЗПОДІЛУ ТА ВИКОНАННЯ ПАКЕТІВ РОБІТ ПРИ ОПТИМІЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ	12
Безкоровайний В.В., Чоломбитько Д.В.	
КІНЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ РОБОЧОГО ОБЛАДНАННЯ ФРОНТАЛЬНОГО НАВАНТАЖУВАЧА	16
Гурко В.О.	
НЕЧІТКА МОДЕЛЬ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ЗБЕРІГАННЯ ЗЕРНА	21
Панов А. О., Колісник Р. І.	
СИСТЕМОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ СИНТЕЗУ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ ВИРОБНИЧИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ	26
Шахрай Р. Р., Безкоровайний В. В.	
РОЗРОБКА МОДЕЛІ ВИБОРУ ТЕПЛООБМІННИХ АПАРАТІВ	30
Шеванов А.Е	

### СЕКЦІЯ 2

#### КЕРУВАННЯ ТЕХНІЧНИМИ ОБ'ЄКТАМИ, РОБОТОТЕХНІКА ТА МЕХАТРОНІКА

АНАЛІЗ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБ'ЄКТУ	35
Александровська Ю.О., Логунов Д.О.	
КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ДОЗУВАННЯ СИПУЧИХ РЕЧОВИН	39
Ворожко М.В., Хом`як Н. Ю.	
МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ НАВІГАЦІЇ МОБІЛЬНИХ РОБОТІВ	42
Галіцейський Д. А.	
АНАЛІЗ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ ГАЛЬМІВНИХ СИСТЕМ	46
Дудкін Б.В., Ткаченко Ю.А.	
КЛАСИФІКАЦІЯ МЕТОДІВ ДІАГНОСТИКИ СТАНУ ДОРОЖНЬОГО ПОЛОТНА	50
Запорожцев С.Ю., Марушев М.О., Запорожцев Д.С.	

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ МУРАШИНОЇ КОЛОНІЇ ПРИ КЕРУВАННІ ДОРОЖНЬО-БУДІВЕЛЬНИМИ МАШИНАМИ	53
Зеленько А.В., Барсуков Д.О.	
МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ПЕРЕДАЧІ ПОВІДОМЛЕНЬ МІЖ АВТОМОБІЛЯМИ В ЗАДАЧІ ПОПЕРЕДЖЕННЯ ПРО МОЖЛИВЕ ЗІТКНЕННЯ	56
Карпишен Б.С.	
ВПЛИВ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ НА АВТОМАТИЗАЦІЮ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У ЛОГІСТИЦІ ТА ТРАНСПОРТІ: АНАЛІЗ УСПІШНИХ ПРИКЛАДІВ	62
Крайнюк М.Ю., Медведовська Я.С.	
АНАЛІЗ РОБОТА ЯК ОБ'ЄКТА УПРАВЛІННЯ	65
Кузьмін М.Д., Кузьминих В.В	
АНАЛІЗ СУЧАСНИХ УНІВЕРСАЛЬНИХ 3D-СИМУЛЯТОРІВ РОБОТІВ	68
Поддубняк І.А	
ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ДОРОЖНІХ МАШИН ЗА РАХУНОК СУЧАСНИХ ЗАСОБІВ ІНТЕЛЕКТУАЛІЗАЦІЇ	73
Собіна С.С	
ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ ЗНЕЗАРАЖЕННЯ ПРИРОДНОЇ ВОДИ	76
Тимошенко Р.С.	
РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ ХІМВОДООЧИЩЕННЯ НА ТЕЦ З ВИКОРИСТАННЯМ АПАРАТУ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ	81
Тоболь Є.Р	
АНАЛІЗ СЛІДКУЮЧИХ ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНИХ ПРИВОДІВ ДРОСЕЛЬНОГО УПРАВЛІННЯ	85
Чала Г.В., Черевко Ф.А	
РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ БІОЛОГІЧНОГО ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД	89
Чуб І.М., Данилова І.І	

АНАЛІЗ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ КЕРУВАННЯ ТРАНСПОРТОМ	93
Шаповал А.Р., Ємельянов В.В	
ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ ОПТИМАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ ПРИВОДОМ ПРОМИСЛОВОГО РОБОТА	97
Шматько О.В.	
ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МАШИНИ ДЛЯ ОБСЛУГОВУВАННЯ АЕРОДРОМІВ ЗА РАХУНОК GNSS ТЕХНОЛОГІЙ	99
Щур Р. М., Холенко Ю.С	
АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД ПИВОВАРНИХ ПІДПРИЄМСТВ	103
Яріш В.Ю.	

### **СЕКЦІЯ 3 ІНТЕРНЕТ РЕЧЕЙ ТА ВБУДОВАНІ СИСТЕМИ**

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ ЗАСОБАМИ ПАРАЛЕЛЬНОЇ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ	107
Гулак А.С., Піскарьов О.М.	
АНАЛІЗ ПРОБЛЕМ ПРИ ОРГАНІЗАЦІЇ ЗВ'ЯЗКУ МІЖ ПРИВАТНИМИ МЕРЕЖАМИ	111
Кудінов Є.О.	
ТЕХНОЛОГІЯ INTERNET OF THINGS	116
Філь Н.Ю., Ніщерегов Д.О	

### **СЕКЦІЯ 4 ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ НА ВИРОБНИЦТВІ ТА В ОСВІТІ**

ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ ПОШУКУ З ВИКОРИСТАННЯМ ХМАРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ: ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ	121
Бабенко В.О., Бутов В.П.	
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНА ПЛАТФОРМА ДЛЯ ПРОЦЕСІВ УПРАВЛІННЯ ДОКУМЕНТАЦІЄЮ ТРАНСПОРТНИХ МЕРЕЖ	124
Бабенко В.О., Роздольський О.Ю	

ТЕХНОЛОГІЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ АПАРАТНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АРМ ДИСПЕТЧЕРА МАРШРУТІВ МЕТРОПОЛІТЕНУ Вишневецкий І.В., Белявський Д.О.	127
ІНТЕГРАЦІЯ MES-СИСТЕМИ В СУЧАСНІ ВИРОБНИЧІ ПІДПРИЄМСТВА: ПЕРЕВАГИ І НЕДОЛІКИ Вінниченко С.О., Колесник Л.В.	131
ІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ РЕМОНТУ І МОДЕРНІЗАЦІЇ АВТОМОБІЛІВ В БАГАТОНОМЕНКЛАТУРНОМУ ВИРОБНИЦТВІ Воронков С.В., Шевченко В.О., Дудукалов Ю.В	135
WEB-ОРІЄНТОВАНА СИСТЕМА ПІДТРИМКИ ДІЯЛЬНОСТІ ТУРИСТИЧНОГО ГОТЕЛЮ ІЗ МЕХАНІЗМОМ СИНХРОНІЗАЦІЇ ДАНИХ ІЗ ДЕКІЛЬКОХ ДЖЕРЕЛ Глуховцов Д.О., Антипенко В.П.	139
АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ЗАСТОСУВАННЯ ЗВОРОТНОГО ІНЖИНІРИНГУ Єльніков В. А.	143
РОЗРОБКА ЗАСОБІВ СТВОРЕННЯ ВІРТУАЛЬНИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ НАВЧАЛЬНОГО ПРОЦЕСУ Завада Д.О.	146
ОПТИМІЗАЦІЯ МАРШРУТІВ У СИСТЕМІ КОМПЛЕКТАЦІЇ ВИРОБНИЧОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ Закладний В. І., Безкоровайний В. В.	151
ПЕРСПЕКТИВИ ЦИФРОВІЗАЦІЇ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ВИРОБНИЦТВА Запорожцев С.Ю., Ніканоров О.А., Шоп'як Б.І.	155
ОЦИФРУВАННЯ РЕЛЬЄФУ ДІЛЯНКИ ЗЕМНОЇ ПОВЕРХНІ Іванов Є.М	158
ОБРОБКА ДАНИХ ЛАЗЕРНОГО СКАНУВАННЯ ТА ХМАРНІ СЕРВІСИ Іванов Є.М.	161
РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНОГО СЕРВІСУ ДЛЯ ПОШУКУ ВІЛЬНИХ МІСЦЬ НА ПАРКОВКАХ Карпук М.С.	164
ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ДЛЯ ВИБОРУ СЕРВЕРІВ DATA- ЦЕНТРІВ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ Кононихін О.С., Дмитрук М.С.	168

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ВИБОРУ ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ ЗАСОБІВ НА ПОДАЛЬШУ МОЖЛИВІСТЬ МАСШТАБУВАННЯ ТА РОЗШИРЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОСТІ МОБІЛЬНИХ ДОДАТКІВ Кононихін О.С., Матвеев П.П.	171
ВПЛИВ ТЕХНІЧНОГО РОЗВИТКУ НА СТРАТЕГІЇ ВИБОРУ ТА ООНОВЛЕННЯ МЕРЕЖЕВОГО ОБЛАДНАННЯ В ОФІСАХ ДОРОЖНЬО-БУДІВЕЛЬНИХ ОРГАНІЗАЦІЙ Кононихін О.С., Прачик В.А	174
АНАЛІЗ ТА ПОРІВНЯННЯ АРХІТЕКТУР ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ СИСТЕМ GPS-МОНІТОРИНГУ В АВТОМОБІЛЬНІЙ ІНДУСТРІЇ Кононихін О.С., Сухомлінов В.К.	177
АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ ВИКОРИСТАННЯ ДОДАТКОВИХ СЕНСОРІВ ТА ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ У КОМБІНАЦІЇ З GPS ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОСТІ БУЛЬДОЗЕРІВ. Корольов В.М., Корольов В.М.	181
ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ЩОДЕННОГО ПЛАНУВАННЯ Коротич К.О., Колесник Л.В.	184
ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ВИБОРУ ХМАРНИХ СЕРВІСІВ ДЛЯ ОРГАНІЗАЦІЇ Кудирко С.С.	189
ПРО КОМП'ЮТЕРНИЙ ІНЖИНІРИНГ У МАШИНОБУДУВАННІ Кухаренко В.М.	193
РОЗРОБКА КОМПОНЕНТУ СИСТЕМИ ВЕБ-ЗАСТОСУНКУ «КАТАЛОГ ОДЯГУ» Куценко А.В., Колесник О.Б	198
РОЗРОБКА КОМПОНЕНТІВ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ E-LEARNING Лактіонова А.О., Безкоровайний В. В.	202
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНО ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ТРАНСПОРТНОЮ ІНФРАСТРУКТУРОЮ МІСТА Мізяк І. О.	207
ВИКОРИСТАННЯ ПЕРЕДОВИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПІД ЧАС ВИКЛАДАННЯ ТЕХНІЧНИХ ДИСЦИПЛІН Лебединський А.В., Кочура І.О.	211

ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ ГЕНЕРАЦІЇ ЗОБРАЖЕНЬ Лебединський А.В., Сілантьєв Е.Е.	214
РОЗРОБКА КОМПОНЕНТІВ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ДІЯЛЬНОСТІ ЗАКЛАДУ СЕРЕДНЬОЇ ОСВІТИ Обривко Є.В., Колесник О.Б.	217
ІНТЕГРАЦІЯ MONGODB ТА NODE.JS: СУЧАСНИЙ ПІДХІД ДО РОЗРОБКИ ВЕБ-ДОДАТКІВ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ УПРАВЛІННЯ РЕСУРСАМИ ПРОМИСЛОВОЇ КОМПАНІЇ Олінкевич Я.В., Колесник Л.В.	220
АНАЛІЗ ЗАДАЧІ АВТОМАТИЗАЦІЇ ДОКУМЕНТООБІГУ З ВИКОРИСТАННЯМ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ Петренко Ю.А., Жабін О.Ю	224
УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ АВТОРИЗАЦІЇ ЗА ДОПОМОГОЮ PASSWORD АУТЕНТИФІКАЦІЇ В ВЕБ ЗАСТОСУНКАХ Плехова А.А., Окушко О.	228
ОСОБЛИВОСТІ РОЗРОБКИ КОМПОНЕНТІВ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ОНЛАЙН ПОКУПКИ ПОБУТОВОЇ ТЕХНІКИ Руденко М.О., Колесник О.Б.	234
ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ПОБУДОВИ ДОВІЛЬНИХ ЛОГІЧНИХ СХЕМ В СИСТЕМАХ КОНТРОЛЮ ТА ДІАГНОСТИКИ Сезонова І.К., Білецький П.М.	238
РОЗРОБКА СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ РОБОТИЗОВАНИМИ ПЛАТФОРМАМИ В ДИНАМІЧНОМУ ВИРОБНИЧОМУ ПРОСТОРИ Сезонова І.К., Потапчук А.Ф.	241
РОЗРОБКА СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ ВИРОБНИЦТВА БОРОШНА Столяров О. В., Панов А. О.	244
СТРУКТУРНА МОДЕЛЬ ВИБОРУ АВТОГІДРОПІДЙОМНИКА ДЛЯ ДЕМОНТАЖНИХ РОБІТ Філь Н.Ю., Жеретєєв А.О.	249
СТРУКТУРА ТЕХНОЛОГІЇ АВТОМАТИЗОВАНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ВИТРАТИ РІДИНИ Функендорф В.В.	253
ФОРМАЛІЗАЦІЯ ЗАДАЧІ ОПТИМІЗАЦІЇ МАРШРУТІВ ЛОГІСТИЧНОЇ МЕРЕЖІ ВИРОБНИЧОГО ПРОЦЕСУ Чернишенко О. В., Безкоровайний В. В.	257

КЛІЄНТ-СЕРВЕРНА ТЕХНОЛОГІЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ВИБОРУ МАЛОТОННАЖНОЇ ВАНТАЖІВКИ Юнашев Д. С., Ільге І. Г., Савчук Б. Є.	261
РЕГУЛЮВАННЯ ДОРОЖНЬОГО РУХУ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕЙПРОМЕРЕЖ Плехова А.А., Яворський Є.О.	264
BIG DATA ANALYTICS: ASPECTS OF APPLYING IN INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEMS Babenko V.O., Drozdyk Ye.V.	269
USING THE ARCHITECTURE AND APPROACHES OF CLOUD COMPUTING IN LOGISTIC SYSTEMS Babenko V.O., Kanishov V.I.	273
OVERVIEW AND COMPARISON OF CLOUD SERVICE MODELS Babenko V.O., Kovtun Ye.S.	276

## СЕКЦІЯ 5

### УПРАВЛІННЯ ПРОГРАМАМИ ТА ПРОЕКТАМИ, ПРОБЛЕМНІ ПИТАННЯ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ПІДБОРУ ТА РОЗПОДІЛУ РЕКОМЕНДОВАНИХ КУРСІВ ПРАЦІВНИКАМ ІТ-КОМПАНІЇ Батраченко В.О. , Колесник Л.В.	280
ДЕКОМПОЗИЦІЯ ПРОЦЕДУРИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В ТЕХНОЛОГІЇ ПРОЄКТУВАННЯ РОБОТИЗОВАНОГО ВИРОБНИЧОГО ПРОЦЕСУ Готовська А. В., Безкоровайний В. В.	285
МОДЕЛЬ ВИБОРУ ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ СТВОРЕННЯ НАВЧАЛЬНОГО ВІДЕОКОНТЕНТУ Ільге О.І., Нефьодов Л.І	290
КРИТЕРІЇ АВТОМАТИЗОВАНОГО ВИБОРУ ЗАПЧАСТИН ДЛЯ ВАНТАЖІВОК В ДОРОЖНЬОМУ БУДІВНИЦТВІ Ільге І.Г., Курашов К.О., Запорожцев С.Ю.	294
ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ У ПРОЄКТНІЙ ДІЯЛЬНОСТІ З РОЗРОБКИ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ Петренко Ю.А., Бугаєвський М.С.	297
КРИТЕРІЇ ВИБОРУ САМОХІДНИХ ДОРОЖНІХ КОТКІВ Тимошенко І.С., Ільге І.Г.	302

РОЗРОБКА ВЕБ-ЗАСТОСУНКІВ ДЛЯ ОНЛАЙН КУПІВЛІ ВІДЕО-ІГОР	305
Хомсі Как С.М., Колесник Л.В.	
АНАЛІЗ СТРУКТУРИ ПОБУДОВИ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ	310
Цимух І.Р	
АНАЛІЗ МОДЕЛЕЙ ВИБОРУ ДОРОЖНІХ БУДІВЕЛЬНИХ МАШИН	317
Бондарєв О.О.	

УДК 004

## АНАЛІЗ СУЧАСНИХ УНІВЕРСАЛЬНИХ 3D-СИМУЛЯТОРІВ РОБОТІВ

*Поддубняк І.А.*

*Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків*

З розвитком галузі робототехніки поширилися й різновиди роботів, яких треба моделювати у симуляціях. Через це важливо мати знання про сучасні перевірені програмні середовища тривимірних симуляцій робототехніки – так можна уникнути таких проблем, що виникають при виборі симуляторного середовища, де обране програмне забезпечення (ПЗ) несподівано виявляється не сумісним: з метою проекту розробки, з наявними навичками розробника, з робочим апаратним забезпеченням розробника тощо [1].

Отже, метою стає аналіз сучасного ПЗ для симуляції функціонування роботів – як надає уяву огляд літератури з галузі моделювань для робототехніки, на рівні нескладного впровадження базових апаратної [2] [3] [4], програмної [5] та додаткової частин симуляції [6], симуляторні середовища не мають істотної різниці в виведенні результатів спільного вигляду [7], але на рівні розробки комплексних проектів виникають розгалуження в можливостях та обмеженнях серед симуляторних ПЗ, про які розробникам та дослідникам варто знати [8].

В таблицях 1 та 2 приведено назви та властивості програмних середовищ робототехнічних симуляцій, які використовуються для розробок [9] [10].

На основі додаткових досліджень, що використовувалися в аналізі [11] [12] [13] [14] [15], в результаті можна звести порівняльні висновки для кожного симуляційного ПЗ.

Gazebo, завдяки інтеграції структури пакету програмної розробки ROS2 (Robot Operating System 2), є найоптимальнішим для праці одночасно з модельованою та апаратною частинами однієї робототехнічної системи.

Gazebo Ignition – окрема версія Gazebo на такому модульному принципі виконання, який дозволяє легко змінювати програмні компоненти самого симуляторного ПЗ. Єдиний істотний недолік – проблеми моделювання пружності.

Таблиця 1 – Базові дані властивостей сучасних симуляційних ПЗ

Назва	Мова програмування	Операційна система	Підтримка безмоніторного (headless) функціонування
Gazebo	C, C++, Python	Linux, macOS, Windows	Вбудована
Gazebo Ignition	C++, Python	Linux, macOS, Windows	Вбудована
WeBots	C, C++, Python, Java, MATLAB	Linux, macOS, Windows	Зовнішня
Isaac Sim	C++	Linux	Вбудована
Project Chrono	C++, Python	Linux, macOS, Windows	Вбудована
PyBullet	Python	Linux, macOS, Windows	Вбудована
CoppeliaSim (V-REP)	C, C++, Python, Java, Lua, MATLAB, Octave	Linux, macOS, Windows	Вбудована
MuJoCo	C	Linux, macOS, Windows	Вбудована
ARGoS	Lua, C++	Linux, macOS, Windows	Вбудована

Таблиця 2 – Додаткові дані властивостей сучасних симуляційних ПЗ

Назва	Фізичний рушій	Відкритий доступ	Підтримка ROS2	Підтримка машинного навчання
Gazebo	Bullet, DART, ODE, Simbody	Так	Так	Зовнішня
Ignition	DART	Так	Так	Зовнішня
WeBots	ODE	Так	Так	Зовнішня
Isaac Sim	PhysX	Ні	Так	Вбудована
Project Chrono	Chrono::Engine	Так	Так	Зовнішня
PyBullet	Bullet	Так	Так	Зовнішня
CoppeliaSim (V-REP)	Bullet, Newton, ODE, Vortex Dynamics	Ні	Так	Зовнішня
MuJoCo	MuJoCo	Так	Ні	Зовнішня
ARGoS	ODE, 3D particle engine, 2D-dynamics open-source physics engine library Chipmunk, 2D-kinematics engine	Так	Ні	Вбудована

WeBots підтримує кілька мов кодування та кілька типів симулювань сенсорів, має нескладний але повнофункціональний користувацький інтерфейс, гарну оптимізацію та точність довгого симулювання. Деякі відсутні функціональності WeBots є

адресованими користувацькими доповненнями (такими як DeepBots для машинного навчання та WeBots.HPC для паралельних симуляцій у «headless» режимі).

Isaac Sim має сумісність з найсучаснішими методами та інструментами машинного навчання для роботів (через програмне розширення Isaac Gym), але працює тільки на відеокартах NVIDIA та тільки з певними стабільними версіями ОС типу Ubuntu.

Project Chrono – орієнтований на робототехніку в симульованих середовищах складних фізичних, динамічних та кінематичних процесів з вбудованою підтримкою функціоналу для елементів середовища типу піску, води та гравію. Підтримка ROS2 є можливою через зовнішнє ПЗ.

PyBullet більш підходить саме для досліджень з робототехніки та машинного навчання. PyBullet працює на клієнтській архітектурі, яка дозволяє легко виконувати паралельні симуляції, та PyBullet має функціональні можливості прямої та зворотної кінематики, середовища машинного навчання з підкріпленням, інтеграції віртуальної реальності, моделювання об'єктів з деформацією та моделювання тканини..

Комерційний CoppeliaSim може бути порівняний з більш точним та оптимізованим WeBots з відкритим кодом, але в першого є свої переваги в підтримці набору інструментів PyRep Python для навчання роботів.

MuJoCo відносно легкий в освоєнні та дозволяє виконувати швидкі розробки керувань з машинним навчанням, але не має таких функціональних можливостей, які мають існуючі середовища симуляцій з відкритим кодом.

ARGoS не є високоточним для задовільного моделювання одиничних роботів, але добре підходить для моделювання великомасштабних зграй роботів з кількома задіяними моделями роботів.

Через різноманітність у функціоналі симуляторних середовищ, що проаналізовані, існують і випадки, коли розробникам доводиться поєднувати використання кількох симуляторів для одної робототехнічної системи, але, з поточними розробками пакетів симуляторного ПЗ, такі методи можуть стати непотрібними, що може бути виявлено у подальших робіт з аналізу цієї галузі.

## **Література:**

1. Afzal, D. S. Katz, C. L. Goues, and C. S. Timperley, “A Study on the Challenges of Using Robotics Simulators for Testing,” *arXiv:2004.07368 [cs]*, 2020.
2. K. Liu and D. Negrut, “The Role of Physics-Based Simulators in Robotics,” *Annual Review of Control, Robotics, and Autonomous Systems*, vol. 4, no. 1, pp. 35–58, 2021.
3. J. Yoon, B. Son, and D. Lee, “Comparative Study of Physics Engines for Robot Simulation with Mechanical Interaction,” *Applied Sciences*, vol. 13, no. 2, p. 680, 2023, doi.
4. Q. L. Lidec, W. Jallet, L. Montaut, I. Laptev, C. Schmid, and J. Carpentier, “Contact Models in Robotics: a Comparative Analysis,” *arXiv.org*, 2023.
5. J. Liu, P. Borja, and C. Della Santina, “Physics-informed Neural Networks to Model and Control Robots: a Theoretical and Experimental Investigation,” *arXiv*, 2023.
6. J.-L. Blanco-Claraco, B. Tymchenko, F. J. Mañas-Alvarez, F. Cañadas-Aránega, Á. López-Gázquez, and J. C. Moreno, “MultiVehicle Simulator (MVSIM): Lightweight dynamics simulator for multiagents and mobile robotics research,” *SoftwareX*, vol. 23, pp. 101443–101443, 2023.
7. Farley, J. Wang, and J. A. Marshall, “How to pick a mobile robot simulator: A quantitative comparison of CoppeliaSim, Gazebo, MORSE and Webots with a focus on accuracy of motion,” *Simulation Modelling Practice and Theory*, vol. 120, pp. 102629–102629, 2022.
8. Phadke, F. A. Medrano, C. N. Sekharan, and T. Chu, “Designing UAV Swarm Experiments: A Simulator Selection and Experiment Design Process,” *Sensors*, vol. 23, no. 17, p. 7359, 2023.
9. F. P. Audonnet, A. Hamilton, and G. Aragon-Camarasa, “A Systematic Comparison of Simulation Software for Robotic Arm Manipulation using ROS2,” *IEEE Xplore*, pp. 755–762, 2022.
10. Elmquist *et al.*, “A software toolkit and hardware platform for investigating and comparing robot autonomy algorithms in simulation and reality,” *arXiv (Cornell University)*, 2022.

11. Z. Chen, J. Yan, B. Ma, K. Shi, Q. Yu, and W. Yuan, “A Survey on Open-Source Simulation Platforms for Multi-Copter UAV Swarms,” *Robotics*, vol. 12, no. 2, pp. 53–53, 2023.
12. Y. Wang and H. Kasaei, “IPPO: Obstacle Avoidance for Robotic Manipulators in Joint Space via Improved Proximal Policy Optimization,” *arXiv (Cornell University)*, 2022.
13. J. Collins, S. Chand, A. Vanderkop, and D. Howard, “A Review of Physics Simulators for Robotic Applications,” *IEEE Access*, vol. 9, pp. 51416–51431, 2021.
14. M. Körber, J. Lange, S. Rediske, S. Steinmann, and R. Glück, “Comparing Popular Simulation Environments in the Scope of Robotics and Reinforcement Learning,” *arXiv:2103.04616 [cs]*, 2021.
15. M. Franchi, “Webots.HPC: A Parallel Robotics Simulation Pipeline for Autonomous Vehicles on High Performance Computing,” *arXiv (Cornell University)*, 2021.