

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

ФАКУЛЬТЕТ КОМП'ЮТЕРНИХ НАУК ТА КІБЕРНЕТИКИ

Кафедра теоретичної кібернетики

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Заступник декана
з навчальної роботи

Кашпур О.Ф.
« 30 » 08 2019 року

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

РОБОТОТЕХНІКА / ROBOTICS

для студентів / for students

галузь знань **12 – Інформаційні технології / Information Technologies**
(шифр і назва)
спеціальність **122 – Комп'ютерні науки / Computer Science**
(шифр і назва спеціальності)
освітній рівень **магістр / Master**
(молодший бакалавр, бакалавр, магістр)
освітня програма **Штучний інтелект / Artificial Intelligence**
(назва освітньої програми)
вид дисципліни **обов'язкова / mandatory**

Форма навчання	денна
Навчальний рік	2019/2020
Семестр	1
Кількість кредитів ECTS	5
Мова викладання, навчання та оцінювання	англійська, українська /English, Ukrainian
Форма заключного контролю	іспит / exam

Викладачі: д.ф.-м.н, проф. Крак Ю.В. (лекції)

Пролонговано: на 20__/20__ н.р. _____ (_____) «__» 20__ р.
(підпис, ПІБ, дата)

на 20__/20__ н.р. _____ (_____) «__» 20__ р.
(підпис, ПІБ, дата)

Розробник: **Крак Юрій Васильович**, доктор. фіз.-мат. наук, професор,
завідувач кафедри теоретичної кібернетики

ЗАТВЕРДЖЕНО

Зав. кафедри теоретичної кібернетики

_____ (Крак Ю.В.)
(підпис) _____ (прізвище та ініціали)

Протокол № 1 від « 27 » серпня 2019 р.

Схвалено науково-методичною комісією факультету комп'ютерних наук та кібернетики

Протокол від « 30 » серпня 2019 року № 1

Голова науково-методичної комісії _____ (Омельчук Л.Л.)
(підпис) _____ (прізвище та ініціали)

« 30 » серпня 2019 року

1. Мета дисципліни – вивчення і засвоєння основних положень робототехніки, принципів і методів вирішення проблем, пов'язаних з моделюванням та керуванням складними робототехнічними системами та оволодіння навичками розв'язування задач робототехніки.

Discipline aim. The purpose of the discipline is to study and mastering the basic principles of robotics, principles and methods for solving problems related to modeling and control of complex robotic systems and mastering the skills of solving robotics problems

2. Попередні вимоги до опанування або вибору навчальної дисципліни (за наявності):

1. *Знати* математичний аналіз, дискретну математику, диференціальні рівняння, алгебру, методи оптимізації, теорію керування, методи ймовірностей в об'ємі освітнього рівня бакалавр.

2. *Вміти* застосовувати отримані знання з базових математичних дисциплін до розв'язання задач робототехніки.

3. *Володіти елементарними навичками* роботи з алгебраїчними перетвореннями, матрицями, знаходження похідних та інтегралів, розв'язування систем диференціальних рівнянь, законами механіки, знаходження оптимальних розв'язків.

Preliminary demands to master or choice of the course discipline:

1. *To know* mathematical analysis, discrete mathematics, differential equations, algebra, optimization methods, control theory, methods of probability in the scope of the educational level of a bachelor.

2. *To be able to apply* the knowledge gained in basic mathematical disciplines to solving problems in robotics.

3. *To possess elementary skills* in working with algebraic transformations, matrices, finding derivatives and integrals, solving systems of differential equations, laws of mechanics, finding optimal solutions.

3. Анотація навчальної дисципліни:

Навчальна дисципліна складається з наступних розділів: математичний опис кінематичних схем маніпуляційних роботів; пряма і обернена задачі планування станів маніпуляційних роботів; побудова областей досяжності, програмних рухів маніпуляційних роботів в середовищі з обмеженнями; побудова рівнянь динаміки на основі принципу Д'Аламбера та рівнянь Лагранжа II роду; дослідження методів оптимального керування на основі використання нелінійних моделей динаміки; постановка задач, розробка методів оптимального керування роботами, оцінка складності та стійкості програмного руху.

Synopsis of the course:

The discipline consists of the following sections. Mathematical description of kinematic schemes of manipulation robots. Direct and inverse problems of planning the states of manipulation robots. Construction of areas of reach, program movements of manipulation robots in the environment with restrictions. Construction of dynamics equations based on the D'Alembert principle and Lagrange equations of the P genus. Research of optimal control methods based on the use of nonlinear dynamics models. Statement of tasks, development of methods of optimal control of works, estimation of complexity and stability of program movement.

4. Завдання (навчальні цілі):

Набуття знань, умінь та навичок (компетентностей) на рівні новітніх досягнень у робототехніці. Зокрема, розвивати:

- здатність спілкуватися іноземною мовою;
- здатність застосовувати квантові операції, виміри, алгоритми для розв'язання задач, пов'язаних з особливостями реалізації квантових обчислень в різних фізичних системах, зокрема в квантовій криптографії;

- здатність вирішувати складні задачі інтелектуальної обробки даних з використанням еволюційного моделювання, нейромережних технологій, застосування обчислювального інтелекту для розв'язання практичних задач в різних галузях професійної діяльності.

Objectives of study:

Objectives (learning objectives): acquiring knowledge, skills and competences at the level of the latest achievements in robotics. In particular, to develop:

- ability to communicate in a foreign language;
- ability to apply quantum operations, measurements, algorithms for solving problems related to the peculiarities of the implementation of quantum computing in various physical systems, in particular in quantum cryptography;
- ability to solve complex tasks of intellectual processing of data with the use of evolutionary modeling, neural network technologies, application of snooping intelligence for solving practical problems in various fields of professional activity.

5. Результати навчання за дисципліною / Results of learning:

Результат навчання (РН) (1 – знати; 2 – вміти; 3. комунікація; 4. автономність та відповідальність)		Форми викладання та навчання	Методи оцінювання	Відсоток у підсумковій оцінці з дисципліни
Код	Результат навчання			
РН1.1	Знати основні поняття робототехніки To know the basics of robotics	<i>Лекція / Lecture</i>	<i>Контрольна робота (КР), іспит / Test, exam</i>	20%
РН1.2	Знати базові методи робототехніки To know the basics methods of robotics	<i>Лекція / Lecture</i>		
РН2.1	Вміти вирішувати тестові приклади з робототехніки Be able to solve test examples in robotics	<i>Лекція, самостійна робота / Lecture, Individual work</i>	<i>КР, іспит / Test, exam</i>	60%
РН4.1	Організувати свою самостійну роботу для досягнення результату To organize your independent work to achieve results	<i>Самостійна робота / Individual work</i>	<i>КР, поточне оцінювання / Test, Current Evaluation</i>	10%
РН4.2	Відповідально ставитися до виконуваних робіт, нести відповідальність за їх якість Be responsible for the work performed, be responsible for their quality	<i>Самостійна робота / Individual work</i>	<i>КР, поточне оцінювання/ Test, Current Evaluation</i>	10%

6. Співвідношення результатів навчання дисципліни із програмними результатами навчання / Correspondence between learning results and program study results

Результати навчання дисципліни	РН1.1	РН1.2	РН2.1	РН4.1	РН4.2
Програмні результати навчання (з опису освітньої програми)					

<p>ПРН2. Використовувати моделі та методи прийняття рішень на основі теорії нечітких множин та в умовах невизначеності і ризиків в процесі управлінської діяльності за галузями.</p> <p>To use models and methods of decision-making based on fuzzy set theory and in conditions of uncertainty and risk in the management of industries.</p>	+	+	+	+	
<p>ПРН9. Володіти методами та технологіями організації та застосування даних у задачах обчислювального інтелекту, будувати моделі прийняття рішень на основі теорії розпізнавання образів, нейромереж та нечіткої логіки.</p> <p>To acquire knowledge about methods and technologies of organization and application of data in problems of computational intelligence, to build decision-making models based on the theory of pattern recognition, neural networks and fuzzy logic.</p>	+		+	+	+
<p>ПРН10. Використовувати інтелектуальні агенти, мультиагентні системи, машинне навчання та самонавчання, генетичні, кооперативні та розподілені еволюційні алгоритми для комп'ютерного розв'язання задач, що вимагають людського рівня мислення.</p> <p>To use intelligent agents, multi-agent systems, machine learning and self-learning, genetic, cooperative and distributed evolutionary algorithms to solve computer problems that require a human level of thinking.</p>		+		+	+

7. Схема формування оцінки / Evaluation scheme.

7.1 Форми оцінювання студентів / Forms of evaluation:

- семестрове оцінювання / semester evaluation:

1. Контрольна робота 1 / Test 1: PH1.1 – **25 балів /18 балів.**
2. Контрольна робота 2 / Test 2: PH1.1, PH2.1 – **25 балів/18 балів.**
3. Поточне оцінювання / Current evaluation: PH4.1, PH4.2 – **10 балів / 6 балів.**

- підсумкове оцінювання / final evaluation:

- максимальна кількість балів які можуть бути отримані студентом / maximum points : 40 балів;
- результати навчання, які оцінюються / learning outcomes that are evaluated : PH1.1, PH1.2, PH2.1;
- форма проведення / form of holding : письмова робота / written work .
- види завдань / types of tasks : два теоретичні питання / two theoretical tasks (60%), задача / problem (40%).

Студент допускається до екзамену якщо семестрі набрав не менше ніж 36 балів та отримав не менше мінімальної порогової кількості балів за поточне оцінювання та контрольні роботи / The student is admitted to semester exam if scored at least 36 points and received at least the minimum threshold number of points for ongoing evaluation and tests.

Для отримання загальної позитивної оцінки з дисципліни оцінка за іспит має бути не менше 24 балів / For general positive assessment of the course grade for the exam must be at least 24 points..

Типова контрольна робота 1 складається з теоретичних та практичних завдань за матеріалом частини 1.

Test work 1.

Матеріал, що виноситься на контрольну роботу 1

1. Формалізми опису кінематичних схем маніпуляційних роботів.
2. Пряма і обернена задачі кінематики.
3. Чисельні методи вирішення проблем планування траєкторій.
4. Задача локального планування станів.
5. Побудова областей досяжності.
6. Побудова статичних моделей маніпуляційних роботів
7. Принцип Д'Аламбера в застосуванні до задачі побудови рівнянь динаміки маніпуляційних систем.
8. Принцип Лагранжа для побудови рівнянь динаміки маніпуляційних роботів.
9. Метод декомпозиції в застосуванні до побудови рівнянь динаміки маніпуляційних роботів.

1. Formalisms of description of kinematic schemes of manipulation robots.
2. Direct and inverse problems of kinematics.
3. Numerical methods for solving problems of trajectory planning.
4. The task of local state planning.
5. Construction of reach areas.
6. Construction of static models of manipulation robots
7. D'Alembert's principle in application to the problem of constructing equations of dynamics of manipulation systems.
8. Lagrange's principle for constructing equations of dynamics of manipulation robots.
9. Decomposition method applied to the construction of equations of dynamics of manipulation robots.

Типова контрольна робота 2 складається з теоретичних та практичних завдань (з відкритими та із закритими відповідями) за матеріалом частини 2.

Test work 2

Матеріал, що виноситься на контрольну роботу 2

1. Методи нелінійного керування маніпуляційними системами.
2. Системи керування на основі рівнянь динаміки, отриманих з використанням рівнянь Лагранжа II роду.
3. Використання адаптивних методів для побудови рухів маніпуляційних роботів.
4. Лінеаризація математичних моделей динаміки маніпуляційних роботів.
5. Алгоритми навчального типу побудови рухів.
6. Основні принципи реалізації методу декомпозиції.
7. Алгоритми координації для побудови рухів маніпуляційних роботів.
8. Нейромережеві методи навчання рухів робототехнічних систем.
9. Системи для моделювання об'ємних моделей маніпуляційних роботів.

1. Methods of nonlinear control of manipulation systems.
2. Control systems based on dynamics equations obtained using Lagrange equations second kind.
3. The use of adaptive methods to build the movements of manipulation robots.
4. Linearization of mathematical models of dynamics of manipulation robots.
5. Algorithms of educational type of construction of movements.
6. Basic principles of implementation of the decomposition method.
7. Coordination algorithms for constructing movements of manipulation robots.
8. Neural network methods for teaching the movements of robotic systems.
9. Systems for modeling three-dimensional models of manipulation robots.

Питання на іспит

1. Формалізми опису кінематичних схем маніпуляційних роботів.
2. Прямі і обернені задачі кінематики
3. Чисельні методи вирішення проблем планування траєкторій
4. Задача локального планування станів
5. Побудова областей досяжності
6. Побудова статичних моделей маніпуляційних роботів
7. Принцип Д'Аламбера в застосуванні до задачі побудови рівнянь динаміки маніпуляційних систем
8. Принцип Лагранжа для побудови рівнянь динаміки маніпуляційних роботів
9. Метод декомпозиції в застосуванні до побудови рівнянь динаміки маніпуляційних роботів
10. Методи нелінійного керування маніпуляційними системами.
11. Системи керування на основі рівнянь динаміки.
12. Використання адаптивних методів для побудови рухів маніпуляційних роботів.
13. Лінеаризація математичних моделей динаміки маніпуляційних роботів.
14. Алгоритми навчального типу побудови рухів.
15. Основні принципи реалізації методу декомпозиції.
16. Алгоритми координації для побудови рухів маніпуляційних роботів.
17. Нейромережеві методи навчання рухів робототехнічних систем.
18. Системи для моделювання маніпуляційних роботів.

1. Methods of nonlinear control of manipulation systems.
2. Control systems based on dynamics equations obtained using Lagrange equations second kind.
3. The use of adaptive methods to build the movements of manipulation robots.
4. Linearization of mathematical models of dynamics of manipulation robots.
5. Algorithms of educational type of construction of movements.
6. Basic principles of implementation of the decomposition method.
7. Coordination algorithms for constructing movements of manipulation robots.
8. Neural network methods for teaching the movements of robotic systems.
9. Systems for modeling three-dimensional models of manipulation robots.
10. Formalisms of description of kinematic schemes of manipulation robots.
11. Direct and inverse problems of kinematics.
12. Numerical methods for solving problems of trajectory planning.
13. The task of local state planning.
14. Construction of reach areas.
15. Construction of static models of manipulation robots
16. D'Alembert's principle in application to the problem of constructing equations of dynamics of manipulation systems.
17. Lagrange's principle for constructing equations of dynamics of manipulation robots.
18. Decomposition method applied to the construction of equations of dynamics of manipulation robots.

7.2 Організація оцінювання:

Терміни проведення форм оцінювання:

1. Контрольна робота 1: до 7 тижня семестру.
2. Контрольна робота 2: до 14 тижня семестру.
3. Поточне оцінювання: протягом семестру.

Студент має право один раз перескласти модульну контрольну роботу з можливістю отримати не більше 80% балів, призначених за роботу. Термін перескладання визначає викладач.

За відсутності студента з поважних причин перездача КР здійснюється відповідно до «Положення про організацію освітнього процесу».

7.3 Шкала відповідності оцінок

Відмінно / Excellent	90-100
Добре / Good	75-89
Задовільно / Satisfactory	60-74
Незадовільно / Fail	0-59

8. Структура навчальної дисципліни. Тематичний план лекцій

№ лекції	Назва лекції	Кількість годин		
		Лекції	Практичні заняття	Самостійна робота
Частина 1. Проблеми робототехніки. Формалізми опису, проблеми кінематики і динаміки Part 1. Robotics problems. Description of the formalisms, problems of kinematics and dynamics				
1	Тема 1. Математичні проблеми робототехніки. Математичний опис кінематичних схем маніпуляційних роботів. <i>Самостійна робота: Розглянути підходи до формалізмів опису кінематичних схем маніпуляційних роботів</i> Theme 1. Robotics mathematical problems. Manipulation robots kinematics schemes description. <i>Individual work: To investigate some approaches for formalisms description of the manipulation robots kinematics schemes</i>	2		8
2	Тема 2. Проблеми кінематики. Постановки задач планування станів маніпуляційних роботів. <i>Самостійна робота: На прикладах конкретних маніпуляційних роботів описати пряму і обернену задачі кінематики. Дослідити обчислювальну складність вирішення даних проблем.</i> Theme 2. Problems of kinematics. Problems statement for manipulation robots states planning. <i>Individual work: To describe the direct and inverse problems of kinematics on the examples of specific manipulation robots. Investigate the computational complexity of solving these problems</i>	2		4
3	Тема 3. Чисельні методи вирішення оберненої задачі кінематики для планування станів маніпуляційних роботів. <i>Самостійна робота: Розглянути постановки задач кінематики як оптимізаційних задач. Розглянути різні методи послідовних наближень для вирішення даних задач.</i> Theme 3. Numerical methods of the inverse kinematics problems solving for manipulation robots states planning <i>Individual work: To consider the formulation of kinematics problems as optimization problems. To consider various methods of successive approximations for solving these problems</i>	2		8
4	Тема 4. Методи побудови областей досяжності маніпуляційних роботів <i>Самостійна робота: Дослідити області досяжності конкретних маніпуляційних</i>	2		4

	<p><i>роботів. Розглянути оптимізаційні методи побудови областей досяжності.</i></p> <p>Theme 4. Methods for reachable regions of the manipulation robots constructing <i>Individual work: To explore the reachable regions of specific manipulation robots. To consider optimization methods for constructing reachable regions.</i></p>			
5	<p>Тема 5. Методи побудова програмних рухів маніпуляційних роботів <i>Самостійна робота: Дослідити методи побудови траєкторій маніпуляційного робота у середовищі з обмеженнями. Описати процедури пошуку оптимального шляху на множині траєкторій.</i></p> <p>Theme 5. Methods for manipulation robots programming movement construction <i>Individual work: To investigate methods for constructing trajectories of manipulation robot in a constrained environment. To describe procedures for finding the optimal path on a set of trajectories.</i></p>	2		8
6	<p>Тема 6. Основні положення механіки для побудови математичних моделей руху маніпуляційних роботів. Статична модель маніпуляційного робота. <i>Самостійна робота: Побудувати рівняння статички для різних маніпуляційних роботів</i></p> <p>Theme 6. Basic principles of mechanics for the construction of mathematical models of the manipulation robots movement. Manipulation robots static model. <i>Individual work: To create a statics equations for differ manipulation robots.</i></p>	2		4
7	<p>Тема 7. Побудова рівнянь динаміки на основі принципу Д'Аламбера. <i>Самостійна робота: Для конкретних маніпуляційних роботів побудувати рівняння динаміки використовуючи Д'Аламбера формалізм.</i></p> <p>Theme 7. Dynamics models construction base on D'Alambert principle <i>Individual work: For specific manipulation robots, construct the equation of dynamics using D'Alembert's formalism</i></p>	2		8
8	<p>Тема 8. Побудова рівнянь динаміки на основі рівнянь Лагранжа II роду <i>Самостійна робота: Для конкретних маніпуляційних роботів побудувати рівняння динаміки використовуючи Лагранжа формалізм</i></p>	2		4

	<p>Theme 8. Dynamics models construction base on Lagrange second kind equations <i>Individual work: For specific manipulation robots, construct the equation of dynamics using Lagrange's formalism</i></p>			
9	<p>Тема 9. Метод декомпозиції для побудови рівнянь динаміки маніпулятора <i>Самостійна робота: Для конкретної кінематичної схеми маніпуляційного робота створити алгоритм декомпозиції для побудови рівнянь динаміки</i></p> <p>Theme 9. Decomposition method for dynamics equations of the manipulation robot formation <i>Individual work: For a specific kinematic scheme of the manipulation robot to create a decomposition algorithm for dynamics equations constructing</i></p>	2		4
10	<p>Тема 10. Чисельно-аналітичні методи формування рівнянь динаміки з мінімізацією обчислювальної складності. <i>Самостійна робота: Для конкретної кінематичної схеми маніпуляційного робота створити алгоритм побудови рівнянь динаміки з мінімізацією обчислювальної складності</i> <i>Контрольна робота 1</i></p> <p>Theme 10. Numerical-analytical methods for dynamics equations of the manipulation robot formation with minimal computational complexity <i>Individual work: For a specific kinematic scheme of the manipulation robot to create an algorithm for constructing equations of dynamics with minimization of computational complexity</i> <i>Test work 1</i></p>	1		4
	Контрольна робота 1	1		
	ВСЬОГО	20		64
Частина II. Методи керування робототехнічними системами Part 2. Methods of the robotics systems control				
11	<p>Тема 11. Методи керування маніпуляційними роботами, з урахуванням динаміки <i>Самостійна робота: Ознайомитися з різними методами керування маніпуляційними роботами</i></p> <p>Theme 11. Methods of the manipulation robots control based on dynamics equations <i>Individual work: Read the various methods of manipulation robot control</i></p>	2		8
12	<p>Тема 12. Методи керування маніпуляційними роботами на основі нелінійної оптимізації <i>Самостійна робота: Дослідити оптимізаційні методи керування маніпуляційними роботами</i></p> <p>Theme 12. Methods of the manipulation robots</p>	2		4

	control based on nonlinear optimization methods <i>Individual work: To explore optimizing control methods of manipulation robot</i>			
13	Тема 13. Методи оптимізації руху при виконанні певних класів технологічних операцій. <i>Самостійна робота: Розглянути різні методи керування рухом для виконання множини операцій</i> Theme 13. Motion optimization methods for performing certain classes of technological operations <i>Individual work: To consider different motion control methods to perform multiple operations</i>	2		4
14	Тема 14. Адаптивні методи побудови рухів маніпуляційних роботів. <i>Самостійна робота: Розглянути методи адаптивного керування рухом маніпуляційних роботів</i> Theme 14. Manipulation robots movement creation based on adaptation methods <i>Individual work: To consider methods of adaptive control of the movement of manipulation robots</i>	2		8
15	Тема 15. Використання нейромережних технологій для побудови рухів маніпуляційних роботів. <i>Самостійна робота: Розглянути методи формування рухів основані на нейротехнологіях</i> Theme 15. Using neural network technologies for manipulation robots learning movements <i>Individual work: To consider methods of formation of movements based on neurotechnologies</i>	2		4
16	Тема 16. Методи планування законів руху по заданих програмних траєкторіях. <i>Самостійна робота: Дослідити методи побудови траєкторій у вигляді сплайн-функцій з певними властивостями</i> Theme 16. Methods for movement rules planning by given programming trajectories <i>Individual work: To investigate methods for constructing trajectories in the form of spline functions with certain properties</i>	2		2
17	Тема 17. Методи координації рухів маніпуляційних роботів. <i>Самостійна робота: Дослідити та описати схему для побудови координованих рухів маніпуляційного робота</i> Theme 17. Methods of coordination of movements	2		4

	of manipulation robots <i>Individual work: To investigate and describe the scheme for coordinated movements constructing of the manipulation robot</i>			
18	Тема 18. Дослідження стійкості та якості рухів маніпуляційних роботів. <i>Самостійна робота: Використовуючи методи теорії керування дослідити стійкість руху маніпуляційних роботів для різних методів керування</i> Theme 18. Investigation of the manipulation robots motions stable and quality <i>Individual work: Using the methods of control theory to investigate the stability of the manipulation robots for different control methods</i>	2		8
19	Тема 19. Алгоритмічне та програмне забезпечення для дослідження і проектування робототехнічних систем. <i>Самостійна робота: Ознайомитися з різними системами моделювання та проектування маніпуляційних роботів</i> Контрольна робота 2 Theme 19. Software for robotics systems investigation and construction <i>Individual work: To view the different systems ащк manipulation robots modeling and design</i> Test work 2	1		4
	Контрольна робота 2	1		
ВСЬОГО		18		46
ВСЬОГО		38		110

Загальний обсяг **150** год., у тому числі:
лекції – **38** год.
консультації – **2** год
самостійна робота - **110** год.

9. Рекомендовані джерела /References

Основні / Main :

- 1.Кириченко Н.Ф., Сорока Р.А., Крак Ю.В. Манипуляционные роботы. Алгоритмическое и программное обеспечение средств управления движением. Київ.:КГУ. 1987.
- 2.Кривонос Ю.Г., Крак Ю.В., Кириченко М.Ф. Моделювання, аналіз і синтез маніпуляційних систем. К.:Наук. Думка. – 2006.
- 3 Крак Ю.В., Шатирко А.В. Теорія керування для інформатиків - підручник. К. ВПЦ «КУ». 2015. 175 с.

4. Крак Ю.В., Лозинська О.В., Пасічник В.В., Тернов А.С., Шкільнюк Д.В. Математичні методи та прикладні інформаційні технології моделювання, перекладу та навчання для української жестової мови: монографія. Львів: Новий світ 2000, 2017
5. І.В.Сергієнко, Ю.В.Крак, О.В.Бармак, Куляс А.І. Системи жестової комунікації: моделювання та розпізнавання дактильної інформації. – Київ: Наук. думка, 2019
6. Воронов А.А. Введение в динамику сложных управляемых систем. М.:Наука. 1985
7. Арайс Е.А., Дмитриев В.М. Автоматизация моделирования многосвязных систем. М.:Машиностроение, 1987.
8. Кириченко Н.Ф., Крак Ю.В., Сорока Р.А. Оптимізація маніпуляційних роботів. К.:Либідь. 1990
9. Murray R.M., Li Z., Sastry S.S. A Mathematical Introduction to Robotic Manipulation. University of California, Berkeley. 1994, CRC Press. 449 p. This electronic edition is available from <http://www.cds.caltech.edu/murray/mlswiki>.
10. Craig J.J. Introduction to Robotics. Mechanics and Control. 2005 Pearson Education, Inc. 400p. Electronic version possible. MATLAB Robotics Toolbox <http://www.ict.csiro.au/robotics/ToolBOX7.htm>
11. I.Krak, I.Kryvonos, W.Wojcik, P.Komada. Optimization methods for robot-manipulator systems modeling and control. – P.463-513. In Monograph “Modelling and Control”. Edited by Jan Sikora and Waldemar Wojcik. – Lublin University of Technology. Poland, 2011. – 516p.
12. McKerrow, P.J. Introduction to Robotics. Addison-Wesley Publishers Company, Inc. first print 1991. 812 p. ISBN 0-201-18240-8
13. інтернет-ресурс: https://www.hahn.group/wp-content/uploads/2020/07/Robotics_and_Automation_Report_PDF.pdf

Додаткові / Additional:

1. Горбань А.Н. и др. Нейроинформатика. – Новосибирск:Наука, 1998
2. Бублик Б.М., Кириченко Н.Ф. Основы теории управления. К.:Вища шк. 1985.