

**KAPITEL 4 / CHAPTER 4⁴****DEVELOPMENT OF A REMOTE CONTROL INTERFACE FOR AN ANTHROPOMORPHIC ROBOT****DOI: 10.30890/2709-2313.2023-23-01-018****Вступ**

Високотехнологічні виробництва, склади, логістичні компанії, сільськогосподарські підприємства та заклади охорони здоров'я шукають нові інноваційні способи підвищення ефективності технологічних операцій. В багатьох випадках рішенням є застосування маніпуляторів або антропоморфних роботів (АР). Сучасні маніпулятори - це повністю автономні інтелектуальні машини, які підвищують продуктивність праці, скорочують час простою обладнання, усувають помилки позиціонування об'єктів і т.п.

При виконанні технологічних операцій завдання системи керування АР - забезпечити переміщення полюсу схвата по заздалегідь визначеній траєкторії. Під час виконання технологічних операцій до робочої зони АР може потрапити перешкода. На відміну від попередніх засобів автоматизації, сучасні АР не покладаються на заздалегідь визначені траєкторії переміщення полюсу схвата і можуть діяти в умовах динамічного зовнішнього середовища без нагляду оператора. Для навігації АР використовують елементи робочого простору і не вимагають дорогої модифікації існуючого виробничого майданчика.

Система керування АР повинна:

- здійснити аналіз поточного стану робочого простору,
- генерувати стратегію досягнення визначеної мети,
- спланувати оптимальну траєкторію руху до об'єкту,
- синтезувати команди на виконавчі органи.

До складу системи керування АР входить набір датчиків, елементи штучного інтелекту, алгоритми машинного навчання та обчислень, інтерфейс, системи контролю, канали зв'язку і т.п. Для здійснення технологічних операцій з вибухонебезпечними, токсичними або радіоактивними об'єктами застосовуються АР з дистанційним копіюванням рухів людини-оператора. Копіююче управління передбачає точне повторення кінематичною схемою

⁴*Authors: Ashhepkova Natalja Sergeevna*



маніпулятора змін узагальнених координат заданих оператором.

Переваги дистанційного керування:

– схожість кінематичних схем маніпулятора та руки оператора спрощує процедуру формування керуючих команд для кожного виконавчого приводу в кінематичних парах,

– дистанційно керований АР може взаємодіяти з інструментами, оснащенням і устаткуванням яке призначено для використання людиною.

Недоліки дистанційного керування:

– оператор позбавлений тактильних відчуттів.

– оператор не відчуває робочих зусиль у шарнірах при діях маніпулятора.

– оператор не має зворотного зв'язку по контактних зусиллях між схватом (інструментом) і об'єктом маніпулювання.

– оператор повинен в ході технологічного процесу з першої спроби генерувати "ідеальну траєкторію" АР.

– необхідність багаторазової передачі керуючих та інформаційних сигналів істотно сповільнюють технологічний процес.

Однією з основних проблем при створенні пристроїв дистанційного керування маніпуляторами є недостатній рівень зворотного силомоментного зв'язку між маніпулятором та оператором. При виконанні технологічних операцій з вибухонебезпечними, токсичними або радіоактивними об'єктами це може привести до значного ускладнення процесу керування та втрат серед військових, рятувальників та цивільного населення.

Мета дослідження розробити інтерфейс для реалізації білатерального керування антропоморфним роботом.

Актуальність дослідження обумовлена широким впровадженням дистанційного керування роботами із застосуванням різноманітних пристроїв керування (рукоятки, джойстики і т.п.).

Для досягнення мети потрібно розв'язати наступні задачі:

– аналіз взаємодії робота з зовнішнім середовищем,

– аналіз конструкцій пристроїв дистанційного керування роботами,

– синтез структури інтерфейсу для реалізації дистанційного керування АР.

Втілення результатів дослідження дозволить вирішити існуючу наукову проблему, а саме: забезпечення адекватного зворотного силомоментного зв'язку між маніпулятором та оператором із застосуванням пристрою дистанційного



керування.

4.1. Аналіз взаємодії робота з зовнішнім середовищем

Робот, як керована машина має наступні властивості:

– *універсальність*, тобто здатність виконувати різні механічні дії в реальному просторі. Для цього роботіві необхідно мати механічну структуру зі змінюваною геометрією ланок.

– *адаптивність* до зовнішнього середовища, тобто здатність самостійно пристосовуватися (змінювати свою стратегію, кінематичну конфігурацію, траєкторію або параметри руху) залежно від змін робочого простору.

Схема взаємодії робота з зовнішнім середовищем при дистанційному керуванні зображена на рис. 1.

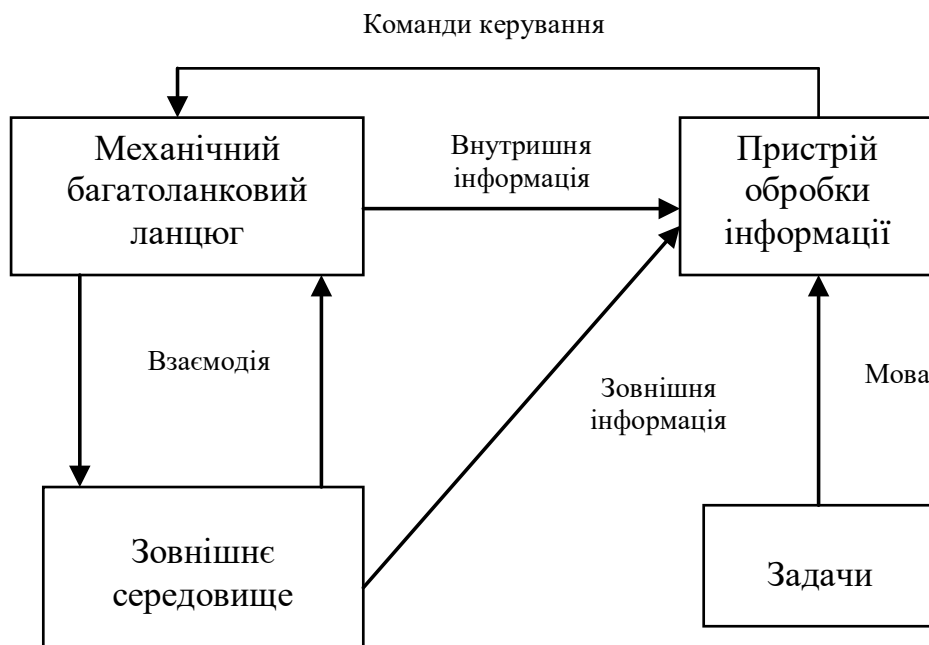


Рисунок 1 – Функціональна схема взаємодії антропоморфного робота з зовнішнім середовищем Авторська розробка

При керуванні роботами взаємодіють чотири основних простори:

1) *робочий простір* або реальний фізичний простір, у якому діє робот.

Положення й орієнтація виконавчого органу (схвату) задаються вектором $\bar{R}_0(t)$ із шістьма компонентами. Зазвичай три компоненти визначають координати поточного положення особливої точки P (полюсу схвата або робочого



інструменту), ще три компоненти визначають орієнтацію робочого інструменту.

Компоненти вектору $\bar{R}_0(t)$ іноді називають операційними координатами.

2) *простір змінних кінематичних пар*, у якому конфігурація робота описується вектором $\bar{q}(t)$, який містить, як правило, стільки ж компонент, скільки й ступенів рухливості. Ці компоненти називають узагальненими координатами.

3) *простір моментів*, які розвиваються в кінематичних парах приводами й зовнішніми силами. Рушійні моменти утворюють у ньому вектор $\bar{M}(t)$.

4) *простір команд керування*, у якому дійсні вектори керування (наприклад, напруги або струми на вході приводів слідкуючої системи) позначаються через $\bar{U}(t)$.

Взаємодія робота із зовнішнім середовищем, у загальному виді містить у собі три основні етапи:

- розуміння завдання;
- можливий пошук додаткової інформації або інструментів до початку виконання завдання;
- безпосереднє виконання завдання (деякої макрозадачі, яка може складатися з великої кількості елементарних підзадач). Вважається, що кожні дві макрозадачі незалежні й зв'язані лише можливою послідовністю виконання в часі.

Механічна частина багатоланкового робота має структуру кінетичного ланцюга (рис. 2). Перші три ступені рухливості (q_1, q_2, q_3) дозволяють забезпечити в просторі координати особливої точки P , тобто полюсу схвату маніпулятора (рис. 2). Інші три ступені рухливості (q_4, q_5, q_6) дозволяють здійснити орієнтацію схвату. Зміни узагальнених координат у кінематичних парах здійснюються за допомогою виконавчих приводів (електричного, гідравлічного або пневматичного типу).

Завдання керування роботом зводиться до рішення рівняння прямого й зворотного переходу:

$$\bar{U}(t) \leftrightarrow \bar{M}(t) \leftrightarrow \bar{q}(t) \leftrightarrow \bar{R}_0(t) \quad (1)$$

Якщо рівняння (1) розв'язне, то алгоритм керування - синтезовано. Процес керування розкладається на етапи:

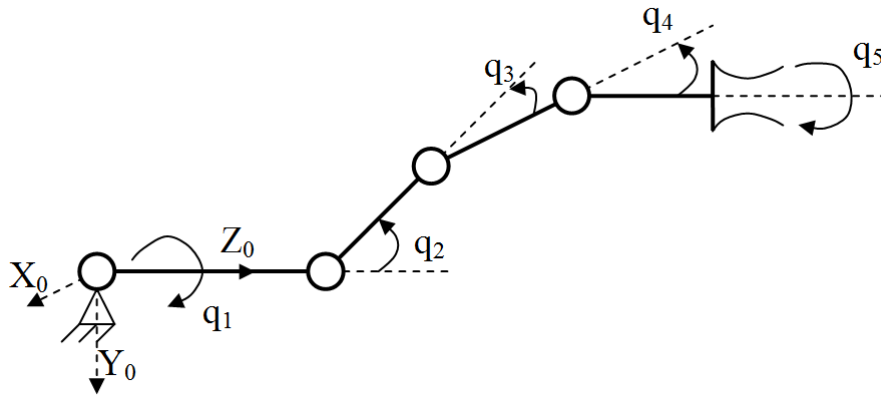


Рисунок 2 - Кінематична схема антропоморфного робота

1. Визначається вектор $\bar{U}(t)$, тобто послідовність керуючих напруг, що подаються на вхід слідкуючої системи приводів, водночас задаються тимчасові обмеження.

2. В обчислювальний пристрій надається послідовність значень $\bar{q}(t)$ з метою самостійного визначення (у реальному масштабі часу для можливості динамічного керування) величин $\bar{M}(t)$ і $\bar{U}(t)$.

3. Обчислювальний пристрій за заданим значенням $\bar{R}_0(t)$ повинен перейти спочатку до $\bar{q}(t)$, потім до $\bar{M}(t)$ і, нарешті, до $\bar{U}(t)$.

На всіх трьох етапах зазначені величини визначаються послідовно для моментів часу, що відповідають бажаному набору траєкторій.

4. Обчислювальний пристрій повинен сформувати траєкторії між конфігураціями кінематичної схеми робота в робочому просторі, а потім у просторі керування. На цьому етапі в силу неповної визначеності траєкторій, можливий деякий прояв здатності робота до самостійного прийняття рішень.

5. Завдання формулюється роботіві не математично, а лінгвістично, і робот повинен здійснити самостійні дії. Опис завдання не є повним: деякі параметри не визначені й повинні бути отримані з зовнішнього середовища відповідно до деякої стратегії.

6. Завдання ускладнюється, мова спілкування з роботом наближається до розмовної.

7. Завдання роботу ставиться усно, як при розмові з людиною. Пристрій обробки інформації повинен не тільки зрозуміти мову, але й перетворити звукові хвилі у фрази, групи слів і т.д., зрозуміти їхній зміст і перейти до виконавчих дій. Таким чином, у це завдання включаються всі винаходи по сприйняттю й обробці



звукової інформації.

Лише починаючи з п'ятого етапу, можна говорити про елементи штучного інтелекту робота.

4.2. Аналіз конструкцій пристроїв дистанційного керування антропоморфними роботами.

Для організації взаємодії робота з оператором застосовуються різні конструкції пристроїв дистанційного керування. При виконанні технологічних операцій з токсичними або вибухонебезпечними об'єктами помилка в інтерпретації команд оператора може привести до руйнування роботу та втратам серед особового складу підрозділу.

Якщо маніпулятор використовується при подоланні наслідків техногенних або природних катастроф, то він працює в умовах невизначеного зовнішнього середовища. Такий маніпулятор доцільно оснастити системою відеоспостереження для створення ефекту присутності людини-оператора у робочому просторі маніпулятора для термінового реагування на зовнішні впливи, запобігання зіткненням маніпулятора з перешкодами та збереження його працездатності.

Під час дослідження було проаналізовано конструкції пристроїв керування у вигляді різноманітних джойстиків [1-3] та рукавички [4, 5].

Конструкцію пристрою дистанційного керування у вигляді браслета наведено на рис.3. Формування команд здійснюється за допомогою жестів. Недоліком є те, що запропонований пристрій сприймає рухи тільки долоні та пальців людини і використовуються у комп'ютерних іграх, тобто не має виробничого застосування.

Конструкція пристрою дистанційного керування маніпуляторами з використанням екзоскелетону наведено на рис.4. Екзоскелетон сприймає керуючі рухи руки людини-оператора та за допомогою ложементу пов'язаний з оператором. Передача керуючих сигналів до маніпулятора здійснюється дистанційно за допомогою радіозв'язку. Зворотній зв'язок забезпечено наявністю функціонального елемента, який порівнює відносні кути обертання ланок пристрою керування з відповідними відносними кутами виконавчої схеми маніпулятора. Якщо величини означених кутів не збігаються, функціональний

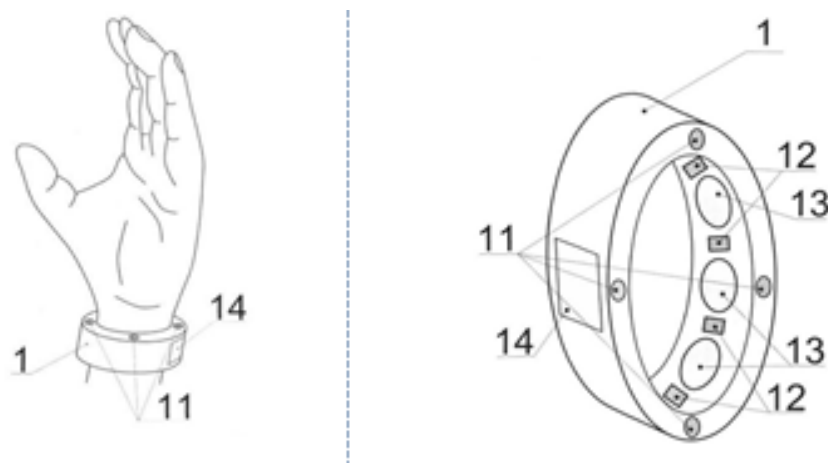


Рисунок – 3. Пристрій керування за допомогою жестів [1].

елемент блокує подальший рух ланок екзоскелетону що свідчить оператору про наявність перешкоди руху маніпулятора.

Недоліком даного пристрою є відсутність керування пальцями тобто рухливими елементами схвату маніпулятора. Ця обставина ставить під сумнів виробничу корисність моделі, оскільки маніпулятор, що копіює рухи руки людини-оператора, призначений для надійного усталеного дистанційно керованого переміщення крихких або небезпечних матеріалів, а також при відсутності прямої видимості оператором дій маніпулятора.

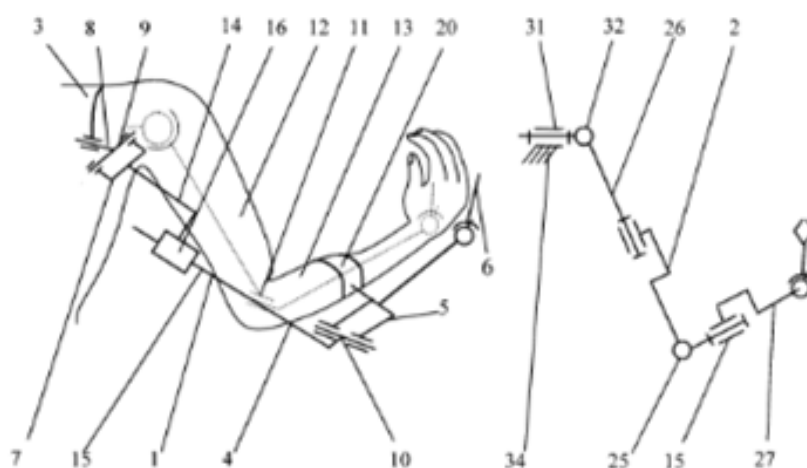


Рисунок – 4. Пристрій копіюючого керування маніпулятором [2].

Конструкція пристрою дистанційного керування маніпуляторами у вигляді рукоятки представлена на рис.5. Згідно поставленого завдання переміщення об'єкту здійснюють механічним схватом маніпулятора з дистанційною



передачею керуючих сигналів за допомогою радіозв'язку. Пристроєм керування при цьому є рукоятка з тактильними датчиками, яка сприймає керуючі рухи руки людини-оператора.

Недоліком даного пристрою є відсутність датчиків зворотного зв'язку у рукоятці та неможливість отримання оператором сигналу зворотного зв'язку по контактним зусиллям між схватом та об'єктом маніпулювання.

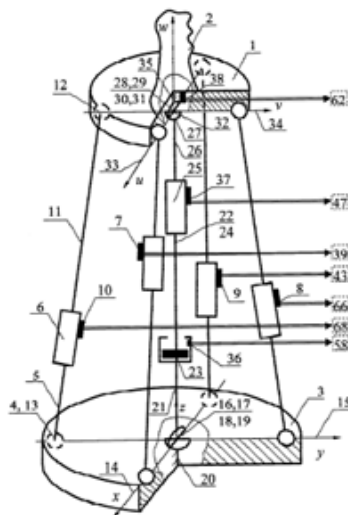


Рисунок – 5. Пристрій для дистанційного керування маніпулятором [3].

Конструкція пристрою керування обумовлює експлуатаційні характеристики маніпулятора та АР. Однак, метод керування з використанням спеціальних пристроїв також має свої недоліки. Ефективність застосування цього методу залежить від навичок та досвіду оператора, оскільки неправильне використання або недостатня увага можуть призвести до помилок керування та втрати зв'язку з АР. Застосування спеціальних пристроїв керування передбачає фізичний контакт та моторну активність, що може виснажити оператора при тривалій роботі.

Перевагами методу керування з використанням спеціальних пристроїв є його оперативність та адаптивність. Оператор у режимі реального часу взаємодіє з АР, що дозволяє швидше та точніше реагувати на зміни у робочому просторі. Цей метод керування дозволяє оператору відчувати вібрацію, опір або інші сигнали зворотного зв'язку, які надають інформацію про поточний стан роботи.

Останнім часом набуло поширення застосування пристрою керування у вигляді рукавички. Електронна рукавичка оснащена датчиком, для виявлення змін руху або згинання пальця. Така рукавичка є зручним пристроєм дистанційного керування. В [6, 7] наведено результати досліджень використання



електронною рукавички людьми з обмеженими можливостями. В [8, 9] наведено результати впровадження електронною рукавички для дистанційного керування роботами – водолазами. В [6, 10] наведено результати використання електронної рукавички для дистанційного керування мобільними роботами. В [11 - 14] наведено результати досліджень дистанційного керування маніпуляторами за допомогою жестів (з використанням електронної рукавички). В [15, 16] наведено результати використання електронної рукавички для дистанційного керування безпілотними літальними апаратами.

Завдяки застосуванню спеціальних пристроїв дистанційного керування оператор може під час переміщення роботу корегувати напрямок руху та швидкість, змінювати траєкторію або послідовність технологічних операцій.

Результати аналізу доводять перспективність застосування пристрою керування у вигляді рукавички для реалізації ефективної взаємодії людини з роботом.

4.3. Розробка структурної схеми системи дистанційного керування антропоморфним роботом

Запропонований у [4, 5] пристрій дистанційного керування маніпулятором (рис.6) складається з еластичної рукавички, яка має довжину від кінчиків пальців до плечового суглоба.

На рис. 6 наведено схему застосування пристрою дистанційного керування антропоморфним маніпулятором, на якій прийнято позначення: ПК – пристрій керування, АМ – антропоморфний маніпулятор, ОМ – об'єкт маніпулювання, СК – система керування, СВ – система відеоспостереження, ПЗ – програмне забезпечення, 1 – пальці, 2 - зап'ястя, 3 – передпліччя, 4 – плече, 5 – фіксатор-наліпка, 6 – кінематичні пари антропоморфного маніпулятора з виконавчими приводами, 7 – силомоментні датчики, 8 – елементи системи технічного зору, 9 – відеокамери, 10 – датчики кута, 11 – чутливі елементи.

Пристрій керування складається (рис.6) із пальців 1, зап'ястя 2, передпліччя 3 та плеча 4. Еластична рукавичка оснащена на пальцях, зап'ясті, лікті, плечі і корпусі оператора фіксаторами-наліпками 5 з датчиками кута 10, під фіксаторами-наліпками розташовані чутливі елементи 11 для забезпечення зворотного зв'язку.

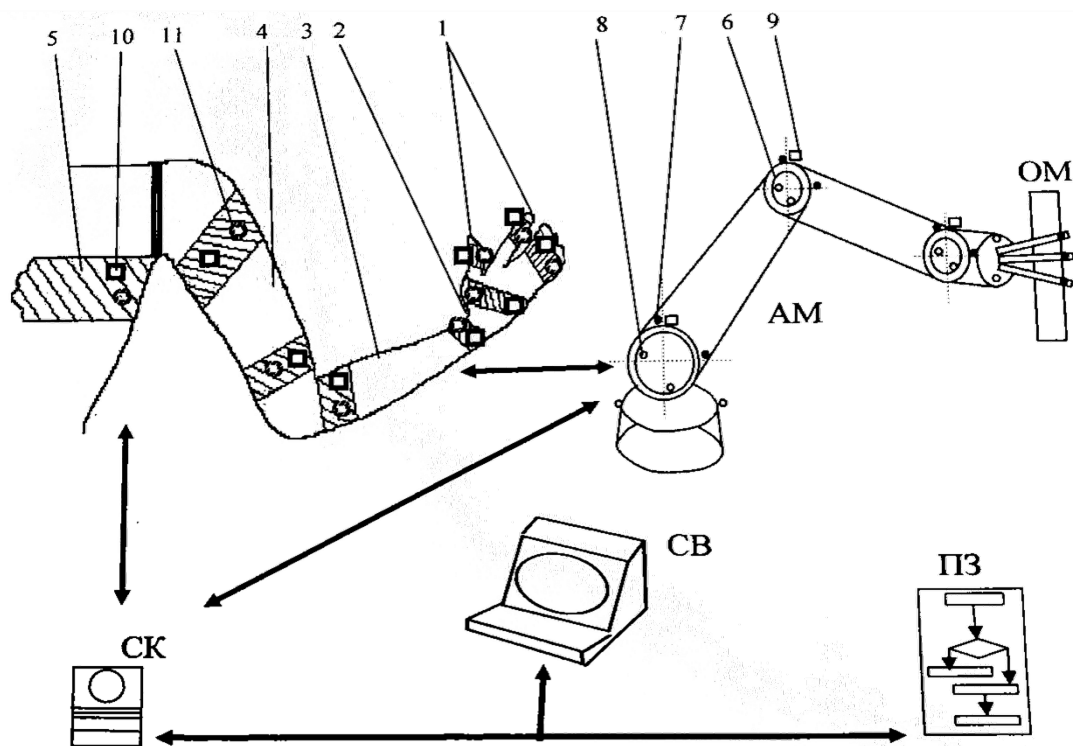


Рисунок 6 - Схема застосування пристрою дистанційного керування антропоморфним маніпулятором [4]

Авторська розробка

Рукавичка містить на пальцях, зап'ясті, лікті і плечі фіксатори-наліпки з датчиками кута акселерометрами і гіроскопами. Така само фіксатор-наліпка закріплена на корпусі людини-оператора. Під фіксаторами-наліпками розташовані чутливі елементи з можливістю створення вібрації в межах заданого діапазону.

Для забезпечення обміну інформацією та керуючих впливів розроблено структурну схему інтерфейсу дистанційного керування антропоморфним роботом (рис.7).

Датчики стану робочої зони маніпулятора надають первинну інформацію у вигляді неперервних сигналів. Після модуляції сигнали подаються до системи керування. Згідно з результатами вимірювань генерується стратегія для досягнення бажаної мети (виконання маніпуляцій з об'єктом чи інструментом). Стратегія розділяється на підзадачі для кожного виконавчого приводу кінематичної схеми маніпулятора. Система керування через демодулятор спрямовує команди до виконавчих приводів маніпулятора.



Рисунок 7 – Структурна схема інтерфейсу дистанційного керування антропоморфним маніпулятором Авторська розробка

Контроль за відповідністю розрахункових та фактичних рухів кінематичної схеми маніпулятора забезпечується за допомогою датчиків зворотного зв'язку. Сигнал зворотного зв'язку дозволяє за допомогою пристрою керування здійснити необхідні корегування. Система керування модернізує згенеровану стратегію з урахуванням внесених корегувань.

При реалізації адаптивного керування генерація нової стратегії забезпечує підлаштування під існуючі параметри робочої зони. При реалізації керування з елементами штучного інтелекту генерація стратегій здійснюється на основі попереднього досвіду та накопичених знань. При реалізації дистанційного копіюючого керування стратегія генерується за командами людини –оператора.

Висновки



У запропонованій роботі застосовано системний підхід для розробки інтерфейсу дистанційного керування антропоморфним роботом. Встановлено характер взаємодії робота з зовнішнім середовищем. Проведено аналіз конструкцій пристроїв дистанційного керування роботами. Запропоновано структурну схему інтерфейсу для реалізації дистанційного керування антропоморфним роботом.

Втілення результатів дослідження дозволить запровадити білатеральне керування антропоморфним роботом. Забезпечення адекватного зворотного силомоментного зв'язку між маніпулятором та оператором доцільно застосовувати при операціях з крихкими, токсичними та вибухонебезпечними об'єктами. Результати дослідження можна застосовувати у екстремальній робототехніці або для антропоморфних роботів із дистанційним супервізорним керуванням, які копіюють рухи людини-оператора.

KAPITEL 5 / CHAPTER 5 ⁵

⁵*Authors: Kryvokulska Nataliia Mykhailivna, Borysiak Olena Volodymyrivna, Hunko Serhii Ivanovych*