Лекция - 5

5 РОБОТТАРДЫҢ АТҚАРУШЫ ҚҰРЫЛҒЫЛАРЫ

5.1 Көп буынды манипуляторлардың кинематикасы

Манипулятордың жалпы кестесі. Роботтың атқарушы құрылғысы бос ұшында басып алу құрылғысымен немесе қандай да бір құралмен жабдықталған манипулятор болып табылады [16]. Манипулятордың буындары бір-бірімен бесінші класты (механизмдер мен машина- лардың теориясындағы жіктелуі бойынша) кинематикалық жұптардың (КЖ) көмегімен қосылады. Әрбір КЖ басқарылатын жетектен қозғалысты алады. Барлық жетектер технологиялық процесті орын- дау бағдарламасына сәйкес манипулятордың барлық буындарының үйлестірілген қозғалысын жүзеге асыру үшін роботты басқарудың бірыңғай жүйесімен біріктірілген.

Манипулятордың механикалық жүйесіне кіретін қатты денелер буындар деп аталады. Механикада кіру және шығу буындары деп бөлінеді. Механизм өзгеретін қозғалысты жеткізетін буын-кіру буыны деп аталады. Жұмыс қозғалысын жасайтын буынды-шығу буыны деп атайды.

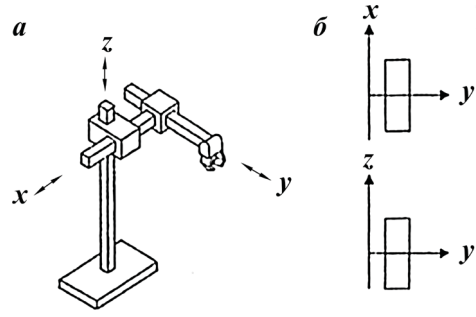
Осылайша, манипулятордағы кіру буындарының саны жетек- тер санына тең, ал шығу буыны, әдетте, бір ұстағыш немесе жұмыс органы. Екі түйісетін буындың жылжымалы қосылуы кинематикалық жұп деп аталады.

Кеңістіктік қозғалысты толық жүзеге асыру үшін манипуля- торда қозғалудың алты дәрежесі болуы қажет, олардың үшеуі манипулятордың соңын кеңістіктің талап етілетін нүктесіне келтіру үшін қажет (көліктік, жылжымалы қозғалу дәрежесі), тағы үшеуі – басып алу құрылғысының немесе құрал-сайманның талап етілетін бұрыштық бағдарын алу үшін қажет (қозғалу дәрежесін бағдарлайтын). Бұл ретте өзінің жұмыс аймағының ішінде кез келген орын ауыстыру- ларды жүргізуге қабілетті әмбебап манипулятор іске асырылады.

Манипулятордың кинематикалық құрастырылуы.

Манипуляторлардың кинематикалық кестесінің үлкен әртүрлі болуы координаталардың түрлі жүйелерімен байланысты (суреттер 2.1-2.4) [16, 17]. Манипулятордың қозғалуының алғашқы үш дәрежесі (тасымалданатын) жұмыс аймағы нүктелерінің үш кеңістіктік координаттарын анықтайды.

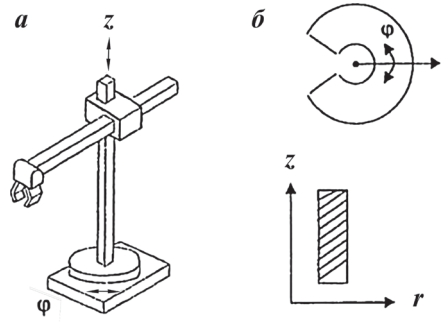
Координаттардың әр түрлі жүйелерінде қозғалғыштықтың осы ауыспалы дәрежелерімен роботтың жұмыс аймағының нысаны мен өлшемдері анықталады. Содан кейін қосылған қозғалу дәрежесі аз әсер етеді. Қозғалғыштықтың бағдарлы дәрежесі манипулятордың жұмыс аймағы шегінде жұмыс органын бағдарлау үшін қызмет етеді. Жұмыс органының жұмыс аймағының кез келген нүктесіне жылжуы үшін жылжымалы дәрежелердің ең аз қажетті саны үшке тең. Алайда, манипуляциялық мүмкіндіктерді кеңейту және қозғалыстың неғұрлым күрделі траекторияларын іске асыру үшін, мысалы, кедергілерді айналып өту, сондай-ақ тез әрекетті арттыру үшін, манипуляторлар бірнеше артық қозғалыс дәрежесін қосады, бұл роботтың құнын күрделендіреді және жоғарылатады. Қазіргі заманғы манипуляторлардың орташа алғанда 4-6 қозғалу дәрежесі бар, бірақ 8-9 дәрежелері манипуляторлар да бар. Бағыттаушы қозғалу дәрежелерінің ең көп қажетті саны үшке тең. Әдетте олар манипулятордың жұмыс органының оның бойлық және басқа екі өзара перпендикулярлы осьтерге қатысты бұрылуын қамтамасыз ететін бұрыштық орын ауыстырумен кинематикалық жұптармен іске асырылады.



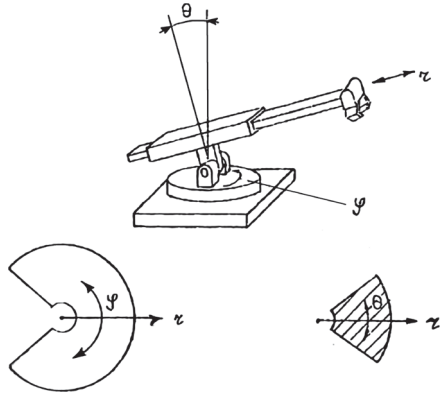
Сурет 2.1. Тікбұрышты координаттар жүйесі бар манипулятор (а) және оның жұмыс аймағы (б)

Тікбұрышты координаттар жүйесі үш үдемелі кинематикалық жұппен іске асырылады, ***цилиндрлі жүйе*** – екі үдемелі және бір айналмалы, ***сфералы*** – екі айналмалы және бір үдемелі, ***бұрышты жүйе*** (ангулярлы) – үш айналмалы. Белгілі бір жүйені таңдау көптеген құрылымдық және пайдалану факторларының жиынтығымен анықталады. Бұл әр түрлі қозғалтқыштардың жинақталуымен байланысты.

Координаттардың тік бұрышты жүйесінде жұмыс істейтін манипуляторлардың параллелепипед түріндегі жұмыс аймағы болады (сурет 2.1, б). Мұнда тек үдемелі қозғалыстар орын алады. Мұндай коорди- наттар жүйесі тік сызықты қозғалыстарды орындау үшін ең ыңғайлы болып келеді. Координаталардың тікбұрышты жүйесін пайдалану роботты бағдарламалауды айтарлықтай жеңілдетуге мүмкіндік береді. Цилиндрлік координаталар жүйесінде жұмыс істейтін манипуляторларда үдемелі орын ауыстырумен қатар бір бұрыштық орын ауыстыру (шеңбер бойынша) жүргізіледі. Тиісінше жұмыс аймағы цилиндрлік беттермен шектелген (сурет 2.2, б).



Сурет 2.2. Цилиндрлі координаталар жүйесі бар манипулятор (а) және оның жұмыс аймағы (б)



Сурет 2.3. Координаттардың сфералы жүйесі бар манипулятор (а) және оның жұмыс аймағы (б)

Координаттардың сфералы жүйесінде жұмыс аймағы сфералық беттермен шектелген (сурет 2.3, б) Бұл координаттар жүйеде екі бұрыштық қозғалыстар жүзеге асырылады. Манипуляторлар мұндай жүйемен күрделі болып келеді цилиндрлі жүйеге қарағанда, бірақ ықшамды.

Координаталардың бұрышты жүйесі бар манипулятор тек бұрыштық қозғалыстарды жүргізеді, яғни манипулятордың буын- дары бір-бірімен бес ретті айналмалы кинематикалық жұптардың көмегімен қосылады. Манипулятордың буындарының роботтың негізінің габаритінен іс жүзінде шығып тұрмай жиналу мүмкіндігінің арқасында роботтың басқаруын қиындатқан кезде оның барынша жинақы болуы қамтамасыз етіледі. Өнеркәсіптік роботтың манипу- ляторының кинематикалық компонентінде пантограф деп аталатын механизм таралды, ол оның буындарының бұрыштық қозғалыстары бар қасиетке ие, ал манипулятордың соңғы жылжуы координаттардың тікбұрышты жүйесінде жүреді.

Манипуляторлардың құрылымы ең алдымен олардың кинематикалық кестесімен анықталады. Манипулятордың конструк- циясына: жетектер түрі, жетектер мен манипулятордың буында- рына қозғалыс беру механизмдерінің орналасуы, манипуляторларды теңдестіру құрылғылары әсер етеді. Манипулятордың буынында тікелей қозғалтқышты орналастыру манипулятордың көлемі мен салмағының артуына алып келеді. Манипулятордың негізінен одан әрі буын, соғұрлым оның қозғалтқышын алдыңғы буындардың біріне, манипулятордың негізіне жақынырақ ауыстырады. Бұл өз кезегінде манипулятордың құрылымын күрделендіретін қозғалтқыштан буынға қозғалысты берудің тиісті тетігін енгізуді талап етеді.

Манипулятор конструкциясы элементтерінің және пайдалы жүктің салмағынан жетектерді түсіруді жүзеге асыратын теңестіруші жүйелерді пайдалану жетектен талап етілетін күш пен қуатты айтарлықтай төмендетуге мүмкіндік береді. Теңдеудің екі жолы бар – пассивті және белсенді. Бірінші тәсілде теңдеуші жүктер (манипулятордың өзі конструкциясының элементтері пайдаланылуы мүмкін) мен серіппелер қолданылады. Екінші тәсілде негізгі жетекке қоса берілген, бірақ қарама-қарсы бағытқа статикалық жүктемеге тең, дамытушы күш- жігермен параллель әрекет ететін қарапайым реттелмейтін қосымша қозғалтқыштар қолданылады.

Манипуляциялық жүйелердің ерекше тобын басқару деформаци- ясы бар манипуляторлар құрайды [15]. Басқарылатын деформацияға

әртүрлі тәсілдермен қол жеткізуге болады, мысалы: өз жетектер жүйесі бар дискілерді (сфералық беті бар) пайдалану; басқарылатын қысымның сығылған ауасын беретін бірнеше бекітілген серпімді түтіктерді және пневматикалық құрылғыны пайдалану; форманың жады бар металл қорытпалардан жасалған жылжымалы элементтерді пайдалану. Басқарылатын деформациямен кинематикалық кестелердің жалпы ерекшелігі олардың элементтері белсенді, яғни оларда мани- пулятордың жылжымалы буыны жетекжен біріктірілген. Сондай-ақ, бұл кестелер таратылған параметрлері бар жүйелер болып табылады, яғни жылжымалы дәрежелердің соңғы саны жоқ.

Роботты технологиялық қолдану шарттары әртүрлі операция- ларды орындауға қайта баптауды ескере отырып, қозғалыстың талап етілетін әмбебаптығына байланысты қандай да бір жинақтаудың қажеттілігін білдіреді. Мұнда жұмыс аймағының мөлшерлері мен конфигурациясына, жылдамдыққа, жеделдетуге және қозғалыстар мен позицияларды орындаудың дәлдігіне, жұмыс аймағының әр түрлі нүктелерінде басып алу құрылғысының (немесе құралдың) қажетті бұрыштық жағдайларын жүзеге асыру мүмкіндігіне қойылатын талаптар қойылады. Қозғалыс дәрежелерінің саны, түрі және өзара орналасуы, сондай-ақ роботтың жұмыс органында болуы мүмкін технологиялық күш-жігер анықталады.

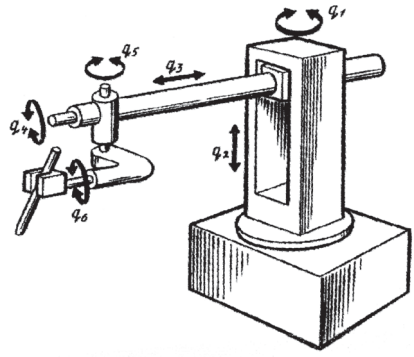
Экономикалық тұрғыдан алғанда, роботтың манипуляциялық механизмінде біріздендірілген түйіндерді пайдалану орынды. Осы мақсатта дайын унифицирленген модульдерден роботтардың әр түрлі түрлерін біріктіруге болатын конструкцияны, жетектерді және басқару жүйесін модульдік құруға жүгінеміз.

Кинематикалық зерттеудің міндеттері.

Өнеркәсіптік роботтардың манипуляторларының кинематикалық компонеттерін синтездеудің ЭЕМ-ді қолдану шарттары бойынша берілген техникалық талаптарды негізге ала отырып есептік әдістері барын білеміз.

Мұнда манипуляторлардың кинематикасын зерттеу есептерін құрылысын қарастырайық. Есептік кинематикалық модель құрастырылады, оған звенолардың өлшемдері, кинематикалық жұптардың саны мен үлестірілуі кіреді. Манипулятор ашық кинематикалық тізбек болып келеді. Кеңістіктегі кинематикалық тізбектің жағдайы тізбектердің салыстырмалы қозғалуын сипаттайтын Qi (i = 1, 2, ..., n) жалпыланған координаталарының көмегімен анықталады, олар айналмалы да, қатысты. Суретте 2.4 q_1, q_2, q_3 тасымалды орын ауыстыруларды, q_4, q_5, q_6 – бағдарды білдіреді.

Кеңістіктегі манипулятордың жағдайын анықтайтын тәуелсіз айнымалыларды түсінетін жалпыланған координаттар саны манипулятордың еркіндік дәрежелерінің санына тең. Механикалық жүйенің еркіндік дәрежелерінің саны жүйенің орын ауыстыруының мүмкін саны деп аталады.



Сурет 2.4. Манипуляторлар буындары жағдайының жалпыланған координаталарын белгілеу

Сурет 2.5 есептік кинематикалық модель тек координаталардың цилиндрлік жүйесіндегі тасымалды орын ауыстырулар үшін берілген. Жалпыланған координаттарды жазуға болады:

$$q_1 = \varphi,\ q_2 = z,\ q_3 = r.$$

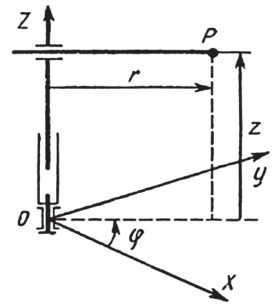
Жұмыс кеңістігіндегі P манипуляторының шеткі нүктесінің координаттары (жұмыс органы бекітілетін жерде) координаталардың цилиндрлік жүйесінде анықталады:

$$x_p = r\cos\varphi,\ y_p = r\sin\varphi,\ z_p = z.$$

Бұл қатынастар өнеркәсіптік роботтардың манипуляторла- рын кинематикалық зерттеудің негізі болып табылады. Манипуля- торлардың жағдайы туралы тура және кері есептер шешіледі.

Тура есеп кинематикалық жұптарда qi берілген салыстыр- малы орын ауыстырулары бойынша манипулятордың (жұмыс орга- нының және барлық буындардың) жағдайын есептеуден тұрады. Қорытылған координаттардың (qi) ықтимал өзгеруі диапазондарының конструктивтік шектеулері кезінде роботтың жұмыс аймағының

сипаттамалары, элементтердің берілген бастапқы қателіктері кезінде позициялау мен қозғалыстың дәлдік сипаттамалары, сондай-ақ сервистік сипаттамалар есептеледі. Бұл сұрақтар арнайы курстарда оқытылады.



Сурет 2.5. Манипулятор координаталарының цилиндрлік жүйесінің кестесі

Кері есеп жұмыс органының немесе манипулятордың кез келген буынының (*x, y, z*) тірек жүйесінде берілген координаттар бойынша *Qi* жалпыланған координаталарын анықтаудан тұрады (олар тізбектердің салыстырмалы орын ауыстыруын сипаттайды). Манипулятордың жұмыс органы мен буындарының сызықтық және бұрыштық жылдамдығы мен үдеуі анықталады.

5.2 Роботтар манипуляторларының жалпы сипаттамасы

Жоғарыда өнеркәсіптік роботтардың атқарушы құрылғыларының жекелеген элементтері, жетектері, механизмдері, манипуляторлардың кинематикасы қарастырылды. Манипулятордың барлық қозғалу дәрежесі үшін қаралған құрылғылар жалпы кешенде біртұтас көп буынды динамикалық жүйе ретінде жұмыс істейді, сондықтан жалпы роботтың осы күрделі атқару құрылғысының жалпы қасиеттерін қарастыру бірінші кезектегі маңызға ие. Сонымен қатар, энергетикалық және динамикалық сипаттамалар, дәлдік сұрақтары, қозғалыстардың бір-біріне қозғалудың барлық дәрежелері бойынша өзара әрекеттесуі, сонымен қатар жалпы массалар мен габариттік әр түрлі-шаралар және олардың пайдалы жүк көтергіштігімен салыстырғанда арақатынасы аса маңызды [30]. Цехта роботтың еденінің ауданы, сондай-ақ роботтың

ілу биіктігі маңызды. Роботты белгілі бір қызмет көрсету аймағында манипулятор басып алу құрылғысының немесе құрал-сайманның барлық қажетті жағдайлары мен бағдарын қамтамасыз ететіндей етіп орналастыру орынды. Манипулятордың траекториялық қозғалуының белгілі бір заңдары, оның ішінде кейде жұмыс кеңістігінде болуы мүмкін кедергілерді ескере отырып қамтамасыз етілуі тиіс.

Энергетикалық талаптар. Энергетикалық есеп манипулятордың барлық қозғалу дәрежелері бойынша жетектердің атқарушы қозғалтқыштарын таңдаумен байланысты. Роботтың қозғалтқыштарының қуаты айналмалы және үдемелі қозғалыстар үшін тиісінше ең жоғары жылдамдықпен белгіленген қозғалыс режимінде қозғалудың әрбір деңгейінде қажетті тұтынылатын қуатқа сүйене отырып анықталады:

$$P_{уақытша} = k \cdot M_{макс} \cdot w_{макс}$$

немесе

$$P_{тұрақты} = k \cdot F_{макс} \cdot v_{макс}$$

мұндағы k – динамикалық режимдерде (жеделдету кезінде) артық жүктемелерді және қозғалтқыштар мен қозғалыс берілістерінің пайдалы әсер ету коэффициенттерін ескеретін қор коэффициенті; M – номиналды момент; F – күш; w, v – жылдамдық.

Роботтар үшін жұмыстың барынша жоғары ресурсы кезінде ең аз ықтимал массалар мен габариттерде қажетті энергетикалық сипаттамалары болуы мүмкін қозғалтқыштар іріктеледі.

Манипулятор динамикасының ерекшеліктері.

Роботтың манипуляторының динамикалық сапасы тоқтау кезінде қозғалыс жылдамдығы мен тежелу жылдамдығына қажетті қамтамасыз етуі тиіс, бұл ретте тоқтау бірқалыпты, тербеліссіз, берілген жерде үлкен дәлдікжен жүзеге асырылуы тиіс.

Қозғалыс барысында талап етілетін жылдамдықпен тербелістер, дірілдер болмауы тиіс. Осы қасиеттердің барлығы тасымалданатын жүктердің әртүрлі массалары және қозғалыс процесінде көп буынды манипулятордың конфигурациясы өзгерген кезде жүк пен буындардың инерция сәттерінің алмасуы жағдайында қамтамасыз етілуі тиіс.

Манипулятордың динамикалық сапасын есептеу үшін буындардың барлық жиынтығының қозғалыс динамикасының дифференциалдық теңдеулері олардың массаларын, инерция моменттерін және бір- бірімен байланыстарын ескере отырып жасалады [29, 30]. Бұл теңдеулерге жетек механизмдерінің динамикасының теңдеулері қосылады. Жоғары ретті дифференциалдық теңдеулердің күрделі

жүйесі шығады. Күрделілік бар болғанда күшейеді бұрыштық координаталар соңғылары тригонометриялық функциялар белгісімен көрсетіледі, яғни теңдеулер сызықсыз болады. Механикалық берілістерде құрғақ үйкеліс пен саңылаулардың әсерін есепке алу кезінде қосымша сызықсыздықтар пайда болады. Мұндай теңдеулер жүйелері ЭЕМ-де сандық түрде шешіледі. Қазірдің өзінде әзірленген бағдарламалар бар. Оларды пайдалана білу керек.

Әдетте, алдымен әрбір буындардың динамикалық қасиеттері жекежеке зерттеледі. Бұл міндетті аналитикалық түрде де шешуге болады. Бірақ түрлі буындардың бір-біріне өзара әрекет ету дәрежесін анықтаумен күрделі динамикалық тапсырманы шешу қажет.

Сондай-ақ буындардың серпімді икемділігін ескере отырып, манипулятордың динамикалық сапасын да зерттейді, буындардың серпімді деформациясы атқарушы органның қозғалыс дәлдігі мен позициялануына әсер етеді.

Басқа талаптар.

Манипулятор үшін позициялаудың дәлдігін есептеу тұтастай алғанда, қателер көздерінің кешенін ескере отырып, әрбір буындағы қателіктерді қосуға және олардың мүмкін болатын өзара компенсаци- ясына негізделген.

Роботты өнеркәсіпте пайдалану тұрғысынан оның габариттік өлшемдері, оны технологиялық жабдықтың жанында орналастыру ыңғайлылығы мен жинақылығы немесе жекелеген жағдайларда роботты осы жабдыққа қосу үлкен маңызға ие. Сондай-ақ, жүк көтергіштікке қатысты робот манипуляторының салмағын төмендету маңызды. Жеңіл буындардың айқын серпімді деформациясы және олардың тербелмелі қозғалыстарға бейімділігіне жол беруге бол- майды.

Мұндай қарама-қайшы талаптарды келістіру буындардың беріктігін есептеудің және олардың тұтастай көп буынды комбинациясының, сондай-ақ буындардың конструкциясын іріктеудің, көлденең профильдерін және оларға арналған материалдарды таңдаудың маңызды элементі болып табылады.