

## АНДАТПА

Момынқұлов Зейнель Зейнуллаұлының диссертациялық жұмысы 8D06105 – "Деректер ғылымы" білім беру бағдарламасы бойынша философия докторы (PhD) дәрежесін алуға ұсынылған "Өнеркәсіптік қолданбаларда робот манипуляторды басқару үшін терең оқыту модельдерін құру"

### Өзектілігі

Қазіргі заманғы өнеркәсіптік кәсіпорындар автоматтандырудың жоғары деңгейімен сипатталады, бірақ көптеген технологиялық процестерде қол еңбегінің айтарлықтай үлесі әлі де сақталады, әсіресе қауіптілігі жоғары учаскелерде. Мұндай аймақтарға жоғары температураға, улы заттарға, шу деңгейінің жоғарылауына, дірілге, сондай-ақ механикалық зақымдану қаупіне байланысты операциялар жатады. Мұндай жағдайда жұмыс істеу адамның денсаулығы мен өміріне қауіп төндіреді. Нәтижесінде өндірістік жарақат алу ықтималдығы артады және қауіпсіздікті қамтамасыз ету үшін қосымша шығындар қажет. Осыған байланысты қазіргі заманғы өнеркәсіптің негізгі міндеттерінің бірі адамның қауіпті және ауыр өндірістік процестерге қатысуын азайту болып табылады. Бұл мәселенің тиімді шешімі адамның тікелей қатысуынсыз кең ауқымды операцияларды орындауға қабілетті роботты манипуляторларды енгізу болып табылады. Роботтарды пайдалану өндірістік тәуекелдер деңгейін едәуір төмендетуге, операциялардың тұрақтылығын арттыруға және технологиялық процестің үздіксіздігін қамтамасыз етуге мүмкіндік береді. Қауіпсіздікті арттырудан басқа, роботтық жүйелерді енгізу айтарлықтай экономикалық пайда әкеледі. Процестерді автоматтандыру еңбек шығындарын азайтуға, өндірістік жарақаттар мен жабдықтың тоқтап қалуына байланысты шығындарды азайтуға мүмкіндік береді. Бұған қоса, тәулік бойы жұмыс істеу және әрекеттердің жоғары қайталануы арқылы өнімділікті арттыру. Роботты манипуляторлар тапсырмалардың дәлірек және тұрақты орындалуын қамтамасыз етеді, бұл әсіресе әртүрлі нысандарды дәнекерлеу және таңбалау сияқты жоғары дәлдіктегі өндіріс процестерінде маңызды.

Дегенмен, қатаң белгіленген алгоритмдер мен алдын ала бағдарламаланған траекторияларға негізделген роботты басқарудың дәстүрлі тәсілдері шектеулі икемділікке ие. Нақты өндіріс жағдайында белгісіздік жиі туындайды: объектілердің орналасуын өзгерту, жаңа міндеттерге бейімделу қажеттілігі. Мұндай жағдайларда классикалық басқару әдістері күрделі қайта конфигурацияны қажет етеді және жеткілікті бейімделуді қамтамасыз етпейді.

Соңғы жылдары роботтарға қоршаған ортамен өзара әрекеттесу негізінде тиімді басқару стратегияларын өз бетінше үйренуге мүмкіндік беретін тереңдетіп оқыту әдістерін қолдану перспективалы бағыт болып табылады. Мұндай әдістер күрделі динамикалық процестерді ескеруге және өзгертін жағдайларға бейімделуге мүмкіндік береді, бұл нақты өндірістік сценарийлерде жұмыс істеу үшін өте маңызды. Қосымша артықшылығы-роботтарға кеңістікті шарлауға және тапсырмаларды дәл алдын ала конфигурациясыз орындауға мүмкіндік беретін компьютерлік көру әдістерімен біріктіру мүмкіндігі.

Осылайша, қауіпті және динамикалық өзгеретін жағдайларда тиімді жұмыс істей алатын роботты манипуляторларды басқарудың интеллектуалды жүйелерін әзірлеу өзекті міндет болып табылады. Бұл міндетті шешу өндірістегі қауіпсіздік деңгейін арттырып қана қоймай, технологиялық процестердің тиімділігін, сенімділігі мен дербестігін арттыру есебінен айтарлықтай экономикалық тиімділікті қамтамасыз етуге мүмкіндік береді.

Диссертациялық зерттеудің негізгі **мақсаты** берілген орта жағдайында өндірістік міндеттерді адаптивті және жоғары дәлдікпен орындауды қамтамасыз ететін күшейте отырып, терең оқыту әдістері негізінде роботты манипуляторды басқарудың интеллектуалды жүйесін әзірлеу.

Мақсатқа жету үшін келесі міндеттерді шешу қажет болды:

1) өнеркәсіптік қосымшаларда роботтандырылған манипуляторларды басқару үшін қолданылатын тереңдетіп оқытудың заманауи әдістеріне талдау жүргізу;

2) үлгілік өнеркәсіптік міндеттерді (дәнекерлеу және таңбалау) жаңғыртуды қамтамасыз ететін модельдеудің виртуалды ортасын әзірлеуге;

3) буындардың параметрлерін, объектілердің позицияларын және нысаналы күйлерді қоса алғанда, роботтандырылған манипулятор үшін күйлер мен іс-қимылдар кеңістігін қалыптастыруға;

4) тапсырманың дәлдігін, траекторияның тиімділігін, соқтығысуды болдырмауды және басқарудың тұрақтылығын ескеретін сыйақы функциясын әзірлеу;

5) манипуляторды басқару үшін күшейтілген терең оқыту модельдерін іске асыру және оқыту;

6) дәлдік, орындау уақыты және тұрақтылық көрсеткіштері бойынша басқару сапасын бағалай отырып, симуляциялық ортада оқытылған модельдерге эксперименттік зерттеу жүргізу;

7) жүйенің тиімділігі мен жалпылау қабілетін арттыру үшін модель архитектурасын және оқыту параметрлерін оңтайландыруды жүзеге асыру;

8) өнеркәсіптік роботтандырылған жабдықпен немесе цифрлық егізбен интеграциялауды қоса алғанда, нақты немесе нақты жағдайларға жақын әзірленген тәсілді валидациялауды жүргізу;

**Зерттеу нысаны** автоматтандырудың өндірістік міндеттерінде қолданылатын роботты манипуляторлар (объектілерді жылжыту, түсіру және өңдеу).

**Зерттеу пәні** траекторияларды адаптивті жоспарлауды, дәл позициялауды және күшейту, оңтайландыру тәсілдері бар терең оқыту негізінде өнеркәсіптік ортаның динамикалық жағдайында тапсырмаларды тиімді орындауды қамтамасыз ететін роботты манипуляторларды интеллектуалды басқару әдістері мен алгоритмдері.

**Жұмыстың әдіснамалық негізі** оқыту әдістерін күшейту және болжамды басқарумен біріктіретін роботты манипуляторды басқарудың гибриді жүйесін әзірлеу және зерттеу болып табылады. Зерттеу барысында роботтық жүйелерді басқарудың заманауи тәсілдеріне талдау жасалды, оның ішінде классикалық траекторияны жоспарлау әдістері, оңтайлы басқару алгоритмдері және күшейтілген терең оқыту әдістері. Манипулятор динамикасын модельдеу және траекторияларды құру үшін роботтың жылдамдығы, үдеуі және жұмыс кеңістігінің шектеулерін ескере отырып, үш өлшемді кеңістіктегі қозғалыстың кинематикалық және геометриялық модельдері қолданылады. Адаптивті басқару және шешім қабылдау үшін DDPG және TD3 күшейтілген терең оқыту алгоритмдері қолданылады. Сондай-ақ иерархиялық және көп деңгейлі басқару схемалары. Зерттеудің

эксперименттік бөлігі роботтық манипуляция сценарийлерін қайталауға арналған симуляциялық ортада жүзеге асырылады. Әзірленген тәсілдердің тиімділігін тексеру үшін доғалық дәнекерлеу және өнеркәсіптік таңбалау міндеттері пайдаланылды, олар жоғары орналасу дәлдігі мен қозғалыс тегістігін талап етеді. Әзірленген модельдердің тиімділігін бағалау орташа абсолютті қателік көрсеткіштерін, траекторияның максималды ауытқуын, жеделдету көрсеткіштерін, қозғалыс тұрақтылығын және тапсырманың сәтті орындалуын қолдана отырып, эксперименттік зерттеулер негізінде жүзеге асырылады. Нәтижелерді салыстырмалы талдау MPC параметрлері мен күшейтілген оқыту алгоритмдерінің өнеркәсіптік қолданбалардағы роботтық манипуляторды басқару сапасына әсерін анықтауға мүмкіндік берді.

#### **Қорғауға шығарылатын ғылыми ережелер:**

1) Нақты пайдалану жағдайларына жақын кинематикалық және динамикалық шектеулерді ескере отырып, өнеркәсіптік сценарийлерді (объектілерді түсіру, орнын ауыстыру және сұрыптау) модельдеуді қамтамасыз ететін роботтандырылған манипуляторды оқытуға арналған әзірленген симуляциялық орта.

2) объектілердің орналасуының белгісіздігін, сенсорлық деректердің шуын және өзгермелі жағдайларда басқарудың тұрақтылығын және жоғары жалпылау қабілетін қамтамасыз ететін жүйе динамикасының өзгергіштігін ескеретін күшейтілген терең оқыту моделінің архитектурасы.

3) объектілерді жай-күйлер мен әрекеттердің үздіксіз кеңістігінде орналастыру, түсіру және жылжыту міндеттерінің жиынтығын тиімді шешуге мүмкіндік беретін күшейте отырып оқыту негізінде роботтандырылған манипуляторды басқарудың әзірленген моделі.

4) әртүрлі өнеркәсіптік міндеттердің бейімделіп орындалуын және әзірленген әдістерді практикалық қолдану мүмкіндігін қамтамасыз ететін бірлескен роботты басқару жүйесіне күшейте отырып оқыту алгоритмдерін интеграциялауға ұсынылған тәсіл.

#### **Зерттеудің негізгі нәтижелері**

1) Басқару теориясының классикалық тәсілдерін, Model Predictive Control әдістерін және күшейтілген терең оқыту алгоритмдерін қоса алғанда, басқарудың заманауи әдістеріне кешенді талдау жасалды. Жүргізілген талдау өнеркәсіптік ортаның динамикалық өзгеретін жағдайларына жеткіліксіз бейімделуге байланысты дәстүрлі әдістердің шектеулерін анықтауға, сондай-ақ болжамды басқару мен оқытуды күшейтумен біріктіретін интеллектуалды басқару жүйелерін әзірлеу қажеттілігін негіздеуге мүмкіндік берді.

2) Model Predictive Control және Deep Reinforcement Learning әдістерін біріктіретін роботтандырылған манипуляторды басқарудың гибриді архитектурасы әзірленді, ол бір мезгілде траекториялық қозғалыстың жоғары дәлдігін, басқарудың тұрақтылығын және өнеркәсіптік ортаның белгісіз жағдайларына бейімделу қабілетін қамтамасыз етеді.

3) Манипулятордың кинематикалық моделін, өзара әрекеттесу объектілерін құру жүйесін қамтитын роботтық манипуляция міндеттерін модельдеу үшін модельдеу ортасы құрылды. Әзірленген орта нақты өндірістік сценарийлерге жақын жағдайларда басқару алгоритмдерін оқытуға және сынауға мүмкіндік береді.

4) Траектория құру және объектілермен өзара әрекеттесу міндеттерінде роботтық манипуляторды басқару үшін ddpg, TD3 және иерархиялық TD3 күшейтілген терең оқыту алгоритмдері енгізіліп, зерттелді. Оқытудың тұрақтылығы, позициялау дәлдігі, конвергенция жылдамдығы және кедергілерден аулақ болу қабілеті критерийлері бойынша алгоритмдерді салыстырмалы зерттеу жүргізілді.

5) Манипулятордың үш өлшемді қозғалыс траекториясын құру үшін параметрлерді оңтайландыру әдісі жасалды. Парето-фронтты және көп критериалды оңтайландыруды қолдана отырып, болжамды басқарудың оңтайлы параметрлерін іздеу жүргізілді, бұл минималды орташа қатені, үдеудің төмендеуін және траекторияның тегістігін қамтамасыз ететін конфигурацияларды анықтауға мүмкіндік берді.

6) MPC және сплайндарға негізделген балама тәсілдерді және қозғалысты жоспарлаудың классикалық әдістерін қоса алғанда, траекторияларды генерациялау әдістерін салыстырмалы зерттеу жүргізілді. MPC қолдану манипулятор динамикасының шектеулері жағдайында траекторияның жоғары дәлдігі мен тұрақтылығын қамтамасыз ететіні анықталды.

7) мақсатты нүктеге дейінгі қашықтықты ескере отырып, күшейтілген оқыту тапсырмалары үшін марапаттау функциясы әзірленді. Ұсынылған функция агенттің оқу тиімділігін арттыруға және күрделі ортада тұрақты мінез-құлық стратегияларын қалыптастыруға мүмкіндік берді.

8) роботты құрастыру, таңбалау және доғалық дәнекерлеу міндеттері үшін симуляциялық ортада есептеу эксперименттері жүргізілді. Нәтижелер әзірленген жүйенің дәл орналасуын, тегіс қозғалысын және қоршаған орта конфигурациясының өзгеруіне бейімделуін қамтамасыз ету қабілетін растады.

9) RL және MPC гибридті жүйесін өнеркәсіптік сценарийлерде қолдану нәтижелеріне талдау жасалды. Болжалды басқару мен күшейтуді оқытуды біріктіріп қолдану позициялау қатесін азайтуға, қозғалыс тұрақтылығын арттыруға және жеке басқару әдістерін қолданумен салыстырғанда соқтығысу ықтималдығын азайтуға мүмкіндік беретіні анықталды.

10) доғалық дәнекерлеу және Беттерді таңбалау операцияларын қоса алғанда, өнеркәсіптік робототехника міндеттері үшін әзірленген тәсілдің практикалық қолданылуы расталды. Нәтижелер интеллектуалды роботты жаңа буын жүйелерін құру үшін терең оқыту әдістерін күшейту және болжамды басқару әдістерімен біріктірудің перспективасын көрсетеді.

**Зерттеу жұмысының ғылыми жаңалығы** роботтық манипуляторды оқытуға арналған арнайы модельдеу ортасын әзірлеу болып табылады, оның ішінде нақты өндірістік процестерге жақын жағдайларда объектілерді түсіру, жылжыту және сұрыптау сияқты өнеркәсіптік сценарийлердің кең ауқымы бар. Зерттеу барысында басқару алгоритмдерінің өзгермелі жағдайларға тұрақтылығын арттыруға мүмкіндік беретін сыртқы ортаның қосымша факторларын ескеретін басқару моделінің архитектурасы ұсынылды. Сондай-ақ роботтық жүйенің кинематикалық және динамикалық шектеулерін ескере отырып, объектілерді орналастыру, түсіру және жылжыту мәселелерін бір уақытта шешуді қамтамасыз ететін роботтық манипуляторды басқару үшін күшейтілген терең оқыту моделі әзірленді. Сонымен қатар, әртүрлі өндірістік міндеттерді орындауға бағытталған бірлескен роботты басқару жүйесі біріктірілген. Құрастыру, таңбалау және доғалық дәнекерлеу операцияларын қосқанда. Ұсынылған тәсіл классикалық басқару әдістерімен және дәстүрлі Машиналық оқыту алгоритмдерімен салыстырғанда роботтық жүйенің басқару дәлдігін, бейімделуін және тұрақтылығын арттырады.

**Диссертациялық жұмыстың практикалық маңыздылығы** дәлдігі мен тұрақтылығы жоғары объектілерді түсіру, жылжыту және сұрыптау тапсырмаларын орындауға қабілетті, тереңдетілген оқытуға негізделген роботты манипуляторды

басқарудың оқытылған және оңтайландырылған моделі. Өзірленген модельдеу ортасы модельдерді нақты жағдайға жақын жағдайда тиімді оқытуға мүмкіндік береді, бұл эксперименттік жөндеу шығындарын айтарлықтай азайтады және іске асыру кезінде тәуекелдерді азайтады. Сонымен қатар, әзірленген алгоритмдерді бірлескен роботты басқару жүйесіне интеграциялау жүзеге асырылды, бұл оларды өнеркәсіптік операциялардың кең ауқымы үшін қолдану мүмкіндігін қамтамасыз етеді. Зерттеу нәтижелерін практикалық іске асыру ұсынылған әдістер өндірістік процестерді автоматтандыру деңгейін арттыруға, қол еңбегіне тәуелділікті азайтуға және технологиялық операцияларды орындау дәлдігін арттыруға мүмкіндік беретінін көрсетеді. Осылайша, әзірленген әдістер мен бағдарламалық құралдар енгізуге жоғары дайындыққа ие және өнеркәсіптік қолдану үшін айтарлықтай қызығушылық тудырады.

**Диссертациялық жұмыстың теориялық маңыздылығы** өнеркәсіптік пайдалану жағдайында роботты манипуляторларды басқару міндеттерін күшейте отырып, терең оқыту әдістерін дамыту және бейімдеу болып табылады. Классикалық басқару әдістеріне немесе күшейтілген оқыту алгоритмдерін оқшауланған қолдануға бағытталған қолданыстағы тәсілдердің көпшілігінен айырмашылығы, бұл зерттеу робототехникалық жүйелердің кинематикалық және динамикалық шектеулерін ескере отырып, үздіксіз оқыту әдістерін күшейтумен біріктіру арқылы ғылыми-әдістемелік базаны кеңейтті. Манипуляторды басқару міндетін көп өлшемді оңтайландыру міндеті ретінде формализациялау маңызды үлес болып табылады, ол параметрлерді келесідей ескереді: позициялау дәлдігі, траекторияның тегістігі және сыртқы бұзылуларға төзімділік. Осылайша, күрделі және белгісіз өндірістік ортада жұмыс істей алатын интеллектуалды басқару жүйелерін құрудың теориялық негізі қалыптасады.

**Алынған нәтижелердің дұрыстығы** және диссертацияның ғылыми ережелерінің негізділігі басқару теориясының әдістерін, математикалық модельдеуді, роботтық жүйелердің кинематикасын, сондай-ақ күшейту және болжамды басқару арқылы терең оқыту алгоритмдерін дұрыс қолданумен расталады. Динамиканың шектеулерін, үдеулерді және қоршаған орта объектілерімен өзара әрекеттесуді ескере отырып, манипулятордың кинематикалық негізделген қозғалыс модельдерін қолдану ерекше маңызға ие, бұл дамыған алгоритмдердің нақты өндірістік жағдайларға сәйкестігін қамтамасыз етеді. Зерттеудің эмпирикалық негізі объектілерді түсіру, жылжыту міндеттерін қамтитын мамандандырылған модельдеу ортасы болды. Ортада жұмыс кеңістігінің геометриясы, кедергілер, сенсорлық деректердің шуы және объектілердің орналасуының белгісіздігі ескерілді, бұл есептеу эксперименттерінің қайталануын қамтамасыз етуге және басқару алгоритмдерін кешенді тексеруге мүмкіндік берді. Өзірленген модельдердің тиімділігін бағалау жалпы қабылданған сапа көрсеткіштерін, соның ішінде орташа қатені, траекторияның тегістігін, үдеуді және қозғалыс тұрақтылығын пайдалана отырып жүргізілді. MPC оңтайлы параметрлерін іздеу үшін көп өлшемді оңтайландыру әдістері және Парето-фронтты талдау қолданылды. Нәтижелердің сенімділігі DDPG, TD3 және иерархиялық TD3 алгоритмдерін салыстырмалы талдаумен, сондай-ақ MPC-ді балама траектория құру әдістерімен салыстырумен расталады. Ұсынылған RL және MPC гибриді тәсілінің робототехниканың өндірістік міндеттеріндегі басқару дәлдігі, тұрақтылығы және бейімделгіштігі бойынша артықшылығы эксперименталды түрде расталды.

## Диссертациялық жұмысты апробациялау

Жұмыстың негізгі нәтижелері келесі ғылыми іс шараларда ұсынылды және баяндалды:

1) Momynkulov, Z., Tursynova, A., Olzhayev, O., Ikramov, A., Ibrayev, S., & Omarov, B. (2025). Three-Dimensional trajectory planning for robotic manipulators using model predictive control and point cloud optimization. *Computer Modeling in Engineering & Sciences*, 145(1), 891–918. <https://doi.org/10.32604/cmcs.2025.068615>

2) S. Ibrayev, B. Omarov, A. Ibrayeva, and Z. Momynkulov, “DeepPSurNET-NSGA II: Deep Surrogate Model-Assisted Multi-Objective Evolutionary Algorithm for enhancing leg linkage in walking robots,” *Computers, Materials & Continua/Computers, Materials & Continua (Print)*, vol. 81, no. 1, pp. 229–249, Jan. 2024, doi: 10.32604/cmc.2024.053075.

3) Zeinel Momynkulov, Azhar Tursynova, Olzhas Olzhayev, Akhanseri Ikramov, Sayat Ibrayev, Amandyk Tuleshov, Batyrkhan Omarov. Pareto-Optimized Model Predictive Control for Real-Time 3D Trajectory Planning of Collaborative Robots. In *Proceedings of PAMDAS 2025 - International conference on Physical Asset Management and Data Science*, 17-18 Jul. 2025, Coimbra, Portugal

4) Zeinel Momynkulov, Azhar Tursynova, Olzhas Olzhayev, Akhanseri Ikramov, Sayat Ibrayev, Amandyk Tuleshov, Batyrkhan Omarov. Trajectory Optimization for Collaborative Robots via the Deep Deterministic Policy Gradient Algorithm. In *Proceedings of PAMDAS 2025 - International conference on Physical Asset Management and Data Science*, 17-18 Jul. 2025, Coimbra, Portugal.

5) Z. Momynkulov & B. Omarov (2025). DDPG for Trajectory Generation. 10th International Conference on Digital Technologies in Education, Science and Industry (DTESI), 19-20 Nov. 2025, Almaty, Kazakhstan.

6) Z.Z. Momynkulov, O. M. Olzhayev, A. T. Tursynova, A. K. Tuleshov, & S. M. Ibrayev. (2025). CONSTRUCTION AND GENERATION OF OPTIMAL TRAJECTORIES USING THE DDPG REINFORCEMENT LEARNING ALGORITHM. *Science and Technology of Kazakhstan*, №4, 2025.

### **Бұл жұмыстың басқа ғылыми-зерттеу жұмыстарымен байланысы.**

- "Жасанды интеллект негізінде Қазақстанның автоөнеркәсіптік кәсіпорындарын икемді роботтандыру және өнеркәсіптік автоматтандыруды (RPA) роботтарды әзірлеу, ғылыми-техникалық және бағдарламалық қамтамасыз ету" (2024-2026 жж., № BR24992947). Зерттеу Қазақстан Республикасы дамуының стратегиялық басымдықтарына сәйкес келеді және өнеркәсіптік автоматтандыру үшін отандық зияткерлік технологияларды, робототехникалық жүйелерді және машиналық оқыту әдістерін дамыту бөлігінде жасанды интеллектті дамытудың 2024-2029 жылдарға арналған тұжырымдамасын іске асыруға ықпал етеді. Жетілдірілген терең оқыту модельдері және Роботты манипуляторларды басқарудың гибриді тәсілдері автономия, дәлдік және өндірістік процестердің қауіпсіздігін арттыруға бағытталған. Басқарудың ұсынылған әдістері жасанды интеллект, зияткерлік робототехника және Қазақстан өнеркәсібін цифрлық трансформациялау саласындағы ұлттық ғылыми-техникалық әлеуетті дамытуға ықпал етеді.

## **Диссертацияның негізгі мазмұны**

Бұл диссертация оқыту әдістерін күшейтумен және болжамды басқарумен біріктіретін гибриді тәсіл негізінде роботты манипуляторларды басқарудың интеллектуалды жүйесін әзірлеу міндетін зерттейді.

Бірінші бөлімде 4.0 және 5.0 индустриясына көшу жағдайында роботтарды басқаруды автоматтандырудың өзектілігі негізделеді, Зерттеудің мақсаты мен міндеттері тұжырымдалады, сондай-ақ ұсынылған тәсілдің ғылыми жаңалығы мен практикалық маңыздылығы анықталады.

Екінші бөлімде роботты басқару жүйелерінің дамуын, роботтандырудың макроэкономикалық аспектілерін және инкарнацияланған интеллект пен іргелі модельдер сияқты заманауи бағыттарды қамтитын әдебиеттерге жан-жақты шолу жасалады. Үлкен тілдік модельдерді робототехникаға біріктіруге, сондай-ақ басқару және оңтайландыру міндеттері үшін терең оқытуды қолдануға баса назар аударылады. Траекторияларды жоспарлау, навигация және кеңістікті қабылдау әдістері, соның ішінде MPC және DRL негізіндегі тәсілдер қарастырылады. Роботты құрастыру және манипуляциялау міндеттері, сондай-ақ бірлескен Робототехника және қауіпсіздікті қамтамасыз ету мәселелері одан әрі талданады. Экономикалық тиімділікті талдау туралы да айтылады автономды жүйелерді өнеркәсіптік салаларда қолдану.

Үшінші бөлімде зерттеу әдістемесі егжей-тегжейлі сипатталған. Гибриді басқару тұжырымдамасы ұсынылады, онда жоғары деңгейлі жоспарлау күшейтілген оқыту әдістері арқылы жүзеге асырылады, ал төмен деңгейлі басқару Model Predictive Control арқылы жүзеге асырылады. Мақсатты функция мен шектеулерді ресімдеуді қоса алғанда, басқару деңгейлерін бөлу және MPC математикалық негіздері қарастырылады. DDPG және TD3 алгоритмдері, сондай-ақ олардың иерархиялық оқыту және көп деңгейлі архитектуралар сияқты кеңейтімдері егжей-тегжейлі талданады. Үш өлшемді кеңістікте траектория құру міндеті тұжырымдалады, шекаралық шарттар, бағалау көрсеткіштері және параметрлерді оңтайландыру әдістері, соның ішінде Парето-фронтты талдау.

Төртінші бөлімде эксперименттік зерттеулердің нәтижелері келтірілген. MPC тиімділігі әр түрлі оңтайландыру критерийлерінде, соның ішінде қатені азайту және жеделдету кезінде талданады. Күшейтілген Оқыту нәтижелері және олардың симуляциялық ортадағы мінез-құлқы қарастырылады. Алынған мәліметтерге кешенді талдау жасалады, соның ішінде әртүрлі тәсілдерді салыстыру және жүйенің тұрақтылығын бағалау. Сондай-ақ, роботтардың нақты техникалық сипаттамаларын ескере отырып, доғалық дәнекерлеу және таңбалау сияқты қолданбалы тапсырмаларда әзірленген әдістерді қолдану көрсетіледі.

Бесінші бөлімде жұмыстың қорытындысы шығарылады. Қойылған мақсатқа қол жеткізу расталады, негізгі ғылыми және практикалық нәтижелер тұжырымдалады, сондай-ақ өнеркәсіптік робототехника міндеттерінде RL және MPC гибриді әдістерін қолдану перспективасы туралы қорытындылар жасалады. Автономияны арттыру, қолдану аясын кеңейту және нақты роботтандырылған платформалармен интеграциялау бағытында жүйені одан әрі дамыту әлеуеті атап өтілді.

**Автордың жеке үлесі.** Диссертацияда сипатталған барлық негізгі нәтижелерді автор орындайды және жинайды. Сонымен қатар, зерттеудің негізгі нәтижелерін, талдауларды, модельдерді, бағдарламаларды автор жасайды, PhD докторанттың жұмысы мен зерттеуінен алынған нәтижелер негізінде тұжырымдар жасалады.

**Жұмыс құрылымы мен көлемі.** Диссертациялық жұмыс титулдық парақтан, мазмұннан, белгілерден және қысқартулардан, бес бөлімнен, пайдаланылған 150 дереккөздер тізімінен тұрады. Диссертацияның жалпы көлемі 106 бетті құрайды, оның ішінде 44 иллюстрация мен 19 кесте бар.