

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ

«Л.Н. ГУМИЛЕВ АТЫНДАҒЫ ЕУРАЗИЯ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ» КЕАҚ

**Студенттер мен жас ғалымдардың
«GYLYM JÁNE BILIM - 2024»
XIX Халықаралық ғылыми конференциясының
БАЯНДАМАЛАР ЖИНАҒЫ**

**СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ
XIX Международной научной конференции
студентов и молодых ученых
«GYLYM JÁNE BILIM - 2024»**

**PROCEEDINGS
of the XIX International Scientific Conference
for students and young scholars
«GYLYM JÁNE BILIM - 2024»**

**2024
Астана**

УДК 001

ББК 72

G99

«ǴYLYM JÁNE BILIM – 2024» студенттер мен жас ғалымдардың XIX Халықаралық ғылыми конференциясы = XIX Международная научная конференция студентов и молодых ученых «ǴYLYM JÁNE BILIM – 2024» = The XIX International Scientific Conference for students and young scholars «ǴYLYM JÁNE BILIM – 2024». – Астана: – 7478 б. - қазақша, орысша, ағылшынша.

ISBN 978-601-7697-07-5

Жинаққа студенттердің, магистранттардың, докторанттардың және жас ғалымдардың жаратылыстану-техникалық және гуманитарлық ғылымдардың өзекті мәселелері бойынша баяндамалары енгізілген.

The proceedings are the papers of students, undergraduates, doctoral students and young researchers on topical issues of natural and technical sciences and humanities.

В сборник вошли доклады студентов, магистрантов, докторантов и молодых ученых по актуальным вопросам естественно-технических и гуманитарных наук.

УДК 001

ББК 72

G99

ISBN 978-601-7697-07-5

**©Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия
ұлттық университеті, 2024**

ОРНАТУ ЖӘНЕ ҚЫЗМЕТ КӨРСЕТУГЕ АРНАЛҒАН ҒАРЫШ РОБОТОТЕХНИКАСЫ

Мейрамова Анель Нуралыевна

anelittaa123@gmail.com

"Ғарыштық техника және технологиялар" БББ 2 курс магистранті,
Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия Ұлттық Университеті, Астана, Қазақстан.
Ғылыми жетекші - п. ғ. к., аға оқытушы Калманова Д. М.

Аннотация. Біздің жұмыста болашақ ғарыштық жобаларды компьютерлік монтаждау және техникалық қызмет көрсету мақсаттары қарастырылған. Орбиталық ортада қолданылатын роботтық құралдардың жаңа мәселелерді шешуге арналған роботтық құралдарды әзірлеу мен құрастырудағы технологиялық сабақтастыққа қатысты мүмкіндіктер және қазіргі кездегі маңызды орбиталық эксперименттер мен нақты тұжырымдамалар қарастырылады. Ең функционалды стратегия болашақ ғарыш объектілерін роботты монтаждау және қызмет көрсету құралдарын әзірлеу, салу және орбиталық жүзеге асырудағы болашақ мәселелерді шешу үшін ұсынылады.

Түйін сөздер: ғарыштық робототехника, орбиталық роботтандырылған техникалық қызмет көрсету, үлкен өлшемді ғарыш объектілері, роботты ғарыш қондырғыларын монтаждау, монтаждау және қызмет көрсету

КІРІСПЕ

Ғарыштық робототехниканың қазіргі даму кезеңі белгілі бір дәрежеде қарама-қайшы екі тенденцияның болуымен сипатталады. Бір жағынан, нақты пайдаланудың негізгі тәжірибесі, ең алдымен, күрделі құрамдас бөлігі болып табылатын ғарыштық робототехника құралдарына қатысты жинақталған көпфункционалды басқарылатын жүйелер. Осылайша, даму логикасы орбиталық станциялар сияқты үлкен көлемді көп модульді ғарыш объектілерін білдіретін перспективалы ғарыштық инфрақұрылым элементтерін одан әрі жетілдіруді көздейтіні анық. Мұндай объектілерді кезең — кезеңімен монтаждау және кейіннен ұзақ мерзімді пайдалану робототехника құралдарын-осы объектілердің ажырамас құрамдас бөлігін бір мезгілде дамытуды көздейді. Дамудың мақсаты-біртіндеп адамның ғарышта орындайтын жұмыс көлемін азайту. Екінші жағынан, перспективалы жобалар саласында екпін робототехникалық сервистік қызметке көбірек ауысады, ол кең мағынада түсіндіріледі және сонымен қатар объектілердің өте кең класына, соның ішінде бастапқыда мұндай қызметке бейімделмеген объектілерге қатысты роботты монтаждау операцияларын білдіреді. Сонымен қатар, болжамды автономды робототехника орбитада нақты жұмыс істейтін құрылғылармен салыстырғанда едәуір күрделі бола отырып, тек аналогтары ғана емес, сонымен бірге мақсатты бұл өте күрделі күрделі мәселелерді сенімді шешуге арналған. Айқын мысал ретінде автономды роботтық қызмет көрсету модулінің кездесу және қондыру кезінде өзара позициялауды қамтамасыз ететін жүйелері жоқ, ерікті бақыланбайтын қозғалысты жасайтын және қондыру қондырғыларымен жабдықталмаған сәтсіз ғарыш аппаратымен байланыс әрекеті болып табылады. Осылайша, мұндай жобаларды іс жүзінде жүзеге асыру тұжырымдамаларды нақтылау мен міндеттерді нақтылауды ғана емес, сонымен қатар ғарыштағы негізгі роботтық технологиялар саласындағы серпінді әзірлемелерді де қамтиды.

Ғарыштық робототехниканың перспективалық міндеттері

Ғарыштық робототехника құрылғыларының бірегейлігі жобалаудың бастапқы кезеңінде осы құрылғылар шешуге арналған міндеттерді мұқият, жан-жақты талдауды талап етеді. Жалпы экстремалды робототехниканың және ғарыштық робототехниканың маңызды ерекшелігі адамның аталған тапсырмалардың маңызды бөлігін орындауының түбегейлі

мүмкін еместігі болып табылады. Сонымен бірге жарияланған міндеттердің ауқымы өте кең. Мысалы, [1] ғарыштық робототехниканы қолдануды көздейтін мәселелердің келесі топтары анықталды: қондыру, орбитаға жанармай құю, жөндеу, жаңғырту, тасымалдау, құтқару және ғарыштық қоқыстарды жою. [2] Басқарылатын орбиталық кешендердегі көлік ішілік және көліктен тыс іс-әрекеттерді роботтық қолдауды, жақын ғарышта орбиталық инфрақұрылымды роботтандырылған құрастыруды және техникалық қызмет көрсетуді, жүктерді жеткізуді және Ай орбитасы мен Ай бетіндегі жұмыстарды роботтық қолдауды, автоматтандырылған зерттеулер мен зерттеулерді атап өту біздің жұмысымызда ұсынылатын болады: күн жүйесінде планеталық инфрақұрылымды құру, ұшуларды автоматтандыру және роботтандыру және күн жүйесінен тыс жұмыстарды жүргізу.[3, 4]-да орбитаға техникалық қызмет көрсетуде роботтық қызмет көрсету операцияларының келесі санаттары келтірілген: ақауларды жою, қызмет ету мерзімін ұзарту және басқа операциялар. Ақауларды жою операцияларына мыналар жатады: қозғалысты басқару (орбитаны реттеу — клиенттік ғарыш аппаратын дұрыс емес бастапқы жеткізу орнынан жылжыту); орналастыру (күн батареяларын, антенналарды және басқа орналастырылатын элементтерді орналастыруға көмек көрсету); жөндеу-қалпына келтіру жұмыстары (жөндеу немесе істен шыққан компоненттерді ауыстыру). Ғарыш аппаратының қызмет ету мерзімін ұзарту келесі қызметтік операцияларды орындауды көздейді: қозғалысты басқару (тасымалдау – спутниктік отын қорын үнемдеу үшін клиенттік ғарыш аппаратын жаңа жұмыс істейтін орбитаға ауыстыру); шығын материалдарын толықтыру, жанармай құю (отынды, салқындатқышты және басқа шығын материалдарын толықтыру); жөндеу-қалпына келтіру жұмыстары (пайдаланылған элементтерді ауыстыру); спутниктің функционалдығын кеңейту және қайта конфигурациялау үшін жаңғырту.

Аталған міндеттер талап етілетін роботтық құралдардың түрімен, олардың жұмыс режимдерімен, автономдылық дәрежесімен, жұмыс ортасының детерминизм деңгейімен және объектілердің роботты техникалық қызмет көрсетуге жарамдылығымен, техникалық және технологиялық негіздердің болуымен, сәйкес роботты құралдардың болуына байланысты жалпы жобалардың орындылығының дәрежесі. Ұзақ мерзімді перспективаға арналған ауқымды міндеттерге қатысты, сондай-ақ оларды жобалау және тәжірибелік сынау процесінде осы мәселелерді шешуге бағытталған роботтық құрылғыларға қойылатын талаптарды нақтылау қажеттілігін атап өту маңызды.

Перспективалық робототехникалық жүйелер тұжырымдамалары

Жетілдірілген роботты жүйелер тұжырымдамалары заманауи технологиялар мен инженерлік шешімдерді әзірлеудегі негізгі нұсқаулар болып табылады. Зерттеу кезінде бұл тұжырымдамалар болашақ робототехникалық конструкциялар мен жүйелер құрастырылатын негізгі идеялар мен принциптерін қолдану мүмкіндігіне талдаулар жасалынады.[5–7] функционалдық мүмкіндіктерін кеңейту бағытында белгіленген прототиптерді жетілдіру кезінде модификацияларды барынша азайтуға ұмтылуға негізделген перспективті ғарыштық робототехника құрылғыларын әзірлеу тәсілінің маңыздылығы атап өтілген.



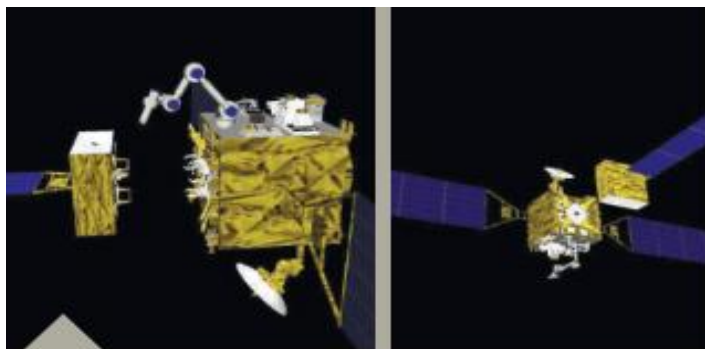
Сурет. 1. Жүк қоймасында орналасқан шаттлды басып алу Discovery мелескопы "Хаббл" (Hubble Space Telescope) процесінде оны 1990 жылы сәуірде орбитаға шығару кезінде (NASA суреті)

Бұл тәсілдің тиімділігі талдайтын болсақ, қазіргі уақытта қолданыстағы ғарыштық робототехниканың сәтті даму тарихымен расталады. Canadarm манипуляторы (1-сурет) бүгінгі күні ХҒС құрамында сәтті жұмыс істейтін мобильді қызмет көрсету жүйесінің негізін құрайтын Canadarm-2 манипуляторының прототипі ретінде қызмет етті (2-сурет). Сонымен қатар, функционалдылықтың маңызды кеңеюі манипуляторды станцияға қатысты негізгі блоктардың үстінен «басу» арқылы да, жылжымалы конвейерді пайдалану арқылы да жылжыту мүмкіндігі болды.



Сурет. 2. ХҒС мобильді сервистік жүйесі (материалдар бойынша NASA). Негізді жылжыту мүмкіндігі қарастырылған станцияға қатысты манипулятор

ETS-VII эксперименті (сурет. 3) 1997-1999 жылдары өткізілді [1-3, 8-11]. [11] атап өткендей, бұл ғарышта роботтық қызмет көрсету үшін автономды жақындау және қондыру технологияларын тексеру мақсатында алғашқы демонстрациялық ұшу болып саналады. Базалық спутникте орнатылған манипуляторды пайдаланбай қондыру жүйесін қолдана отырып, сондай-ақ базалық спутниктің манипуляторымен клиент-спутникті түсіру арқылы жақындастыру және қондыру операциялары пысықталды. Клиент-спутникте блоктарды автономды ауыстыру, орбиталық құрастыру, түрлендірілетін элементтерді орналастыру бойынша эксперименттер жүргізілді. Жер үсті пунктiнен телебасқару режимі пысықталды. Манипулятордың (базалық спутниктің) жылжымалы негізінің қозғалысын манипуляция процесімен біріктіретін "базалық спутник – манипулятор – спутник-клиент" еркін ұшатын жүйесінің басқарылатын қозғалысының динамикасы эксперименталды түрде зерттелді.



Сурет. 3. Негізгі қызмет көрсету спутнигі және қосалқы спутник-клиент ETS-VII орбиталық тәжірибе үшін дербес роботандырылған сервистік технологияларды қызмет көрсету, 1997-1999 жж

Колумбия шаттл (STS-107 миссиясы) жойылғаннан кейін тексеру үшін еркін ұшатын құрылғы емес, модификацияланған Canadarm манипуляторы пайдаланылды. Келесі миссиялардың әрқайсысында Canadarm термиялық қорғаныс жабынының ықтимал зақымдалуын анықтау үшін шаттлдың сыртқы бетін мұқият тексеру үшін штангаға орнатылған аспаптары бар Orbiter Boom Sensor System (OBSS) бірге пайдаланылды (4-сурет).



Сурет. 4. Orbiter Beam Sensor System (OBS), STS-125 миссиясында Canadarm-мен бірге қолданылады, мамыр 2009 (NASA суреті)

Бұл мысал ғарыштық робототехника технологияларының дәйекті дамуының маңыздылығын және жаңа құрылғыларды мұқият тәжірибелік орбиталық сынақтан өткізудің өзектілігін көрсетеді. Ғарыш станциясына қызмет көрсету және астронавттардың көліктен тыс әрекеттерін қолдау үшін көліктік және манипуляциялық жүйе сипатталған (ЦНИИ РТК, ЦНИИМаш). [12]-де атап өтілгендей, әзірленіп жатқан жүйе мақсаты, жұмыс жағдайлары және конструкциясы бойынша XFC-да жұмыс істейтін Dextre роботына (манипулятор) ұқсас (SPDM, 2-сурет, 5-сурет).



Сурет 5. Арнайы мақсаттағы Манипулятор SPS (Special Purpose Dexterous Manipulator) – Dextre

Мобильді қызмет көрсету жүйесінің бөлігі ретінде жұмыс істейтін Dextre роботының көмегімен ХҒС-да шешілетін негізгі міндеттердің бірі (2-сурет) ауыстырылатын құрылғыларды ауыстыру ORU блогтары (Орбитада ауыстырылатын қондырғы, 6-сурет) болып табылады.



Сурет 6. ORU блогын ауыстыру операциясы

Перспективалы роботтық технологияларды жөндеу үшін MSS және SPDM манипуляторын пайдалану да бірдей маңызды. Жарқын мысал ретінде робототикалық жанармай құю миссиясы (RRM) табылады [13, 14], оның түпкі мақсаты клиенттік спутниктерді, оның ішінде бастапқыда қызмет көрсетуге бейімделмегендерді автоматты түрде орбиталық жанармаймен толтыруды қамтамасыз ететін сервистік спутниктерді құру болып табылады. Түзету эксперименттерінің сериясы сәйкес роботтық технологиялар ETS-VII және Orbital Express миссияларының тәжірибесіне, сондай-ақ Хаббл телескопының орбиталық қызмет көрсету тәжірибесіне негізделген [15].

Тәжірибе жүргізу үшін оған SPDM манипуляторына арналған жабдықтары мен ауыстырылатын құралдары бар арнайы платформа қойылды және ХҒС фермасының құрылымына орналастырылды.

Мұндай модульдерді жобалаудың ең көп таралған элементтері:

- жылжымалы базаның болуы;
- жеткілікті жоғары дербестік дәрежесі бар, ғарыш кеңістігінде өз бетінше қозғалуға қабілетті және басқа ғарыш объектілерімен, мысалы, базалық станциялармен немесе орнатылған (қызмет көрсетілетін) объектілермен контактілі өзара әрекеттесу үшін бейімделген ғарыш модулінің болуы;
- базаға қатысты жалпы алғанда айтарлықтай массивтік ұсталатын жүктің басқарылатын қозғалысы мүмкіндігін қамтамасыз ететін негізде орнатылған бір немесе бірнеше манипуляторлардың болуы.

Кейбір үлкен ғарыштық құрылымды пассивті фрагменттерден роботты орнатудың келесі кезеңдерін алайық:

1. Фрагменттерді орбитада қандай да бір аралық позицияға жеткізу. Арнайы базалық станцияға жеткізуді болжауға болады.
2. Фрагменттерді орнатуға дайын күйге келтіру – тасымалдау бөлімінен шығару (конфигурацияның мүмкін болатын өзгерістерімен).
3. Автономды роботты ғарыш модулімен фрагменттерді түсіру.
4. Автономды роботты ғарыш модулімен фрагменттерді құрастыру алаңына тасымалдау.
5. Жеткізілген фрагменттерді монтаждалған құрылымға бекіту.

Бұл жағдайда фрагменттердің ұстағыш интерфейстермен және қондыру қондырғыларымен жабдықталу дәрежесі шешуші рөл атқарады.

Содан кейін басқарылатын қозғалыс динамикасының сипаттамалары тұрғысынан өте ерекшеленетін автономды роботты ғарыш модулінің жұмыс режимдерін бөлуге болады, мысалы:

- модульдің жүктемесіз басқарылатын қозғалысы («бос рейс»);

- модульді базалық станцияға немесе монтаждалған құрылымға манипуляторды қолданбай қондыру;
- модульді базалық станцияға немесе монтаждалған құрылымға манипулятордың көмегімен қондыру («модульді кейіннен мүмкін қондыру арқылы базалық станцияны манипулятормен басып алу»);
- базалық станцияға қатысты бекітілген, сонымен қатар базалық станцияға қатысты бекітілген жүктеме модульді манипулятормен түсіру;
- инерциялық кеңістікте бос жүктемені манипулятормен ұстау;
- манипулятордың ұстағышындағы жүктемемен модульдің басқарылатын қозғалысы;
- манипулятордың көмегімен негізге қатысты жүктің бақыланатын қозғалысы, содан кейін негізге қатысты жүктемені бекіту («көліктік бекіту»);
- негізге бекітілген жүктемемен модульдің басқарылатын қозғалысы;
- монтаждалған құрылымға жүктемесі бар модульді қондыру, содан кейін манипулятордың көмегімен жүктемені негізден ажырату және оны әдеттегі орнына орнату;

ҚОРЫТЫНДЫ

1. Біздің зерттеуімізде ғарыштық робототехника құрылғыларының толық ауқымды жұмысына кіріспе кешенді орбиталық сынақтар қарастырылады. Бұл ретте роботты құрылғының жаңа функцияларын тәжірибелік сынау оның орбиталық жұмысымен бір мезгілде белгілі бір бекітілген негізгі функционалдылықты пайдалана отырып жүзеге асырылатын тәсіл тиімді деп санаймыз. Бұл тәсілдің ең айқын мысалы - Халықаралық ғарыш станциясының роботтық мобильді қызмет көрсету жүйесі.

2. Осы тәсілді іске асыру орбиталық роботтық сынақ алаңының бір түрі ретінде алдын ала әзірленген стратегияға сәйкес жеткілікті ұзақ уақыт бойы жасалған және пайдаланылған күрделі мақсаттағы ірі габаритті көпмодульді ғарыш объектісінің болуын болжайды. Бүгінгі күні мұндай нысанның айқын және жалғыз мысалы - Халықаралық ғарыш станциясы. Бұл нысанның басқарылатынын және оған кіретін ғарыштық робототехниканы нақты мәселелерді шешу үшін пайдаланған кезде, ең алдымен, білікті мамандар басқаратынын атап өткен жөн.

3. ETS-VII және Orbital Express сияқты жаңа робототехника мен роботтық технологияларды сынауға арналған бір қысқа мерзімді демонстрациялық миссиялар қазіргі уақытта жоғарыда аталған негізгі тәсілді толықтырады. Шамасы, жақын болашақта оларды келешегі бар роботтық құралдарды жөндеудің өзін-өзі қамтамасыз ететін құралы ретінде қарастыруға болмайды, кем дегенде күрделілік деңгейі қазіргі кезеңде жарияланған перспективалық мәселелерді шешуді көздейтін құралдар.

4. Кең көлемді ұзақ мерзімді жоба шеңберінде дәйекті түрде жүзеге асырылатын тұжырымдалған перспективалық міндеттердің қажеттіліктерімен байланысты бағыттар бойынша қазіргі уақытта қолданыстағы ғарыштық робототехниканың функционалдық мүмкіндіктерін одан әрі эволюциялық кеңейту логикалық тұрғыда маңыздылығы ерекше. Мұндай жобаның мысалы ретінде монтаждау мен техникалық қызмет көрсетуді оның ажырамас бөлігі болып табылатын автономды робототехника жүзеге асыратын ғарыш объектісін құру болады. Болашақта мұндай объектілердің өзара байланысты жиынтығын құруды және олардың арасында ғарыштық робототехникаға арналған монтаждау және қызмет көрсету жабдықтарының автономды қозғалысы мүмкіндігін болжауға болады.

5. Жаңа ғарыштық робототехниканы құрудағы технологиялық сабақтастық қажеттілігін және тиісті технологияларды әзірлеудегі ұзақ мерзімді стратегияның дәлелденген тиімділігін ескере отырып, роботтандыруды талап ететін перспективалық міндеттерді талдау және оларды шешу жолдарын іздестіру орынды.

Қолданылған әдебиеттер

1. Angel Flores-Abad, Ou Ma, Khanh Pham, Steve Ulrich. A review of space robotics technologies for on-orbit servicing. *Progress in Aerospace Sciences*, 2014, vol. 68, pp. 1–26. DOI:10.1016/j.paerosci.2014.03.002
2. Lysyj S.R. Nauchno-tehnicheskie problemy i perspektivy razvitiya robototekhniki special'nogo (kosmicheskogo) naznacheniya. *Ehktremal'naya robototekhnika. Proceedings of the International Scientific and Technical Conference. Saint Petersburg, Politehnika-servis*, 2015, pp. 29–32.
3. Dalyaev I.Yu., Shardyko I.V., Kuznetsova E.M. Tekhnicheskiy oblik sredstv robototekhnicheskogo obespecheniya servisnogo sputnika, prednaznachennogo dlya prodleniya srokov aktivnogo sushchestvovaniya kosmicheskikh apparatov. *Ehktremal'naya robototekhnika. Proceedings of the International Scientific and Technical Conference. Saint Petersburg: Politehnika-servis*, 2015, pp. 181–186.
4. Dalyayev I.Yu., Shardyko I.V., Kuznetsova E.M. Perspektiva sozdaniya robotizirovannykh servisnykh sputnikov dlya tekhnicheskogo obsluzhivaniya i prodleniya srokov aktivnogo sushchestvovaniya kosmicheskikh apparatov. *Robototekhnika i tekhnicheskaya kibernetika*, 2015, no. 3. pp. 27–31.
5. Belonozhko P.P. Kosmicheskaya robototekhnika. Opyt i perspektivy razvitiya. *Vozdushno-kosmicheskaya sfera*, 2018, no. 1, pp. 84–93.
6. Belonozhko P.P. Kosmicheskaya robototekhnika. Sovremennoe sostoyanie, perspektivnye zadachi, tendentsii razvitiya. *Analiticheskiy obzor. Science and Education of Bauman MSTU*, 2016, no. 12, pp. 110–153. DOI: 10.7463/1216.0853919 *Aerospace Sphere Journal No2(99)* 2019 97
7. Belonozhko P.P. Perspektivnye montazhno-servisnye robotizirovannye kosmicheskie moduli. *Robototekhnika i tekhnicheskaya kibernetika*, 2015, no. 2, pp. 18–23.
8. K. Yoshida (2000). *Space Robot Dynamics and Control: To Orbit, From Orbit, and Future*. In: Hollerbach J.M., Koditschek D.E. (eds). *Robotics Research*. Springer, London, pp. 449–456.
9. K. Yoshida (2000). *Space Robot Dynamics and Control: a Historical Perspective*. *Journal of Robotics and Mechatronics*, vol. 12, no. 4, pp. 402–410.
10. K. Yoshida and K. Hashizume (2001). Zero Reaction Maneuver: Flight Velication with ETS-VII Space Robot and Extention to Kinematically Redundant Arm. *Proceedings of the 2001 IEEE International Conference on Robotics and Automation, ICRA 2001, May 21–26, 2001, Seoul, Korea*.
11. Angel Flores-Abad, Ou Ma, Khanh Pham, Steve Ulrich. A review of space robotics technologies for on-orbit servicing. *Progress in Aerospace Sciences*, 2014, vol. 68, pp. 1–26. DOI: 10.1016/j.paerosci.2014.03.002
12. Seredin S.V., Lysyj S.R., Semenov V.V., Abalikhin O.Yu., Emel'dyashcheva O.V., Fomina V.V., Kondrat'ev A.S., Gradovtsev A.A., Konyshov V.A. Kosmicheskie robototekhnicheskie sistemy podderzhkideyatelnosti ekipazha orbital'nykh i naplanetnykh moduley. *Ehktremal'naya robototekhnika. Proceedings of the International Scientific and Technical Conference. Saint Petersburg, Politehnika-servis*, 2015, pp. 199–202.
13. NASA's Robotic Refueling Mission Practices New Satellite-Servicing Tasks // NASA. Available at: http://www.nasa.gov/mission_pages/station/research/news/rrm_practice.html (Retrieval date: 05.11.2018).
14. Robotic refueling mission (RRM). Available at: https://sspd.gsfc.nasa.gov/robotic_refueling_mission.html (Retrieval date: 04.11.2018).
15. NASA // NASA: ofcial website. Available at: <http://www.nasa.gov/> (Retrieval date: 09.11.2018).