

UOT 681.518

## DİSKRET DİNAMİKİ SİSTEMLƏRİN İMITASIYA MODELLEŞDİRİLMƏSİ İLƏ TƏDQIQI VƏ İMITASIYANIN NƏTİCƏLƏRİNİN ANİMASIYASININ MÖVCUD VƏZİYYƏTİNİN ANALİZİ

**XƏLİLOV ELNUR OKTAY oğlu**

*Mingəçevir Dövlət Universiteti, Azərbaycan, Mingəçevir ş., baş müəllim, doktorant*

[elnur\\_29@hotmail.com](mailto:elnur_29@hotmail.com)

*Açar sözlər: imitasiya, animasiya, 3D modelləşdirmə, kompüter modelləşdirilməsi*

*Məqalədə diskret xarakterli dinamik mürəkkəb sistemlər kateqoriyasına aid edilən müasir çevik istehsal sistemlərinin yaradılması və tətbiqində çoxsaylı mexatron qurğulardan təşkil edilmiş çevik istehsal modulları “kollektiv”lərinin layihələndirmə mərhələlərində modelləşdirilməsi, kompüter eksperimentləri ilə tədqiq olunması və real obyektə fəaliyyətində paralellik və asinxronluq prinsipləri gözlənilməklə qarşılıqlı əlaqədə idarəetmə alqoritmlərinin işlənməsinin həlli məsələlərinə baxılmışdır. Robototexniki kompleksləri layihələndirən mütəxəssislərin fəaliyyətlərinin prioritet istiqamətləri tədqiq edilmiş, proseslərin dinamik imitasiya modelləşdirilməsi və 3D modelləri üçün xüsusişdirilmiş proqram təminatlarının işi analiz edilmişdir. İmitasiya modelləşdirilməsi proqram komplekslərinin işlənməsinin mövcud vəziyyətinin analizi yerinə yetirilmiş və imitasiyanın nəticələrinin animasiya üsullarından istifadə etməklə kompüter eksperimentləri ilə tədqiqi məsələlərinə baxılmışdır.*

Diskret xarakterli dinamik mürəkkəb sistemlərin layihələndirilməsi mərhələləri çoxiterasiyalı proses olmaqla, ixtisaslı, müxtəlif təyinatlı mütəxəssislərin kollektiv fəaliyyəti ilə yerinə yetirilən bir prosesdir. Layihələndirmə təcrübəsi göstərir ki, əksər hallarda layihələndirmənin ilkin mərhələlərində (sistemotexniki layihələndirmə – yəni texniki tapşırıq, eskiz və texniki layihələndirmə mərhələləri) nəzərdə tutulan nəzəri və təcrübi ideyalar son nəticədə, xüsusən də sınaq və tətbiq mərhələlərində özlərini doğrultmur ki, bu da öz növbəsində nəzərdə tutulmamış çatışmazlıqları aradan qaldırmaq üçün əlavə vəsaitlər tələb edir və layihələndirmə müddətinin süni şəkildə uzadılması ilə müşayiət olunur.

Problemin əsaslı həlli üçün geniş yayılmış üsullardan - müasir modelləşdirmə aparatları bazasında kompüter modelləşdirilməsindən, informasiya-kommunikasiya texnologiyalarına əsaslanan avtomatlaşdırılmış layihələndirmə alətlərindən, layihələndirmənin bütün mərhələlərində geniş istifadə edilməsi mühüm istiqamət hesab edilir.

Diskret xarakterli dinamik mürəkkəb sistemlər (DDMS) kateqoriyasına aid edilən yeni avtomatlaşdırma vasitələri – sənaye robotu (SR), avtomatik idarə olunan nəqliyyat sistemləri (NS), proqramla idarə olunan dəzgahlar, anbar sistemləri və s. bazasında yaradılan, iki və üçölçülü fazada qarşılıqlı əlaqədə fəaliyyət göstərən çevik istehsal sistemlərinin (ÇİS) layihələndirilməsində, modelləşdirilməsində və idarə edilməsində də müasir informasiya texnologiyalarının istifadəsi aktualıq kəsb edir. Müasir ÇİS-lərin yaradılması və tətbiqində çoxsaylı mexatron qurğulardan (MQ) təşkil edilmiş çevik istehsal modulları (ÇİM) “kollektiv”lərinin layihələndirmə mərhələlərində modelləşdirilməsi, kompüter eksperimentləri ilə tədqiq olunması və real obyektə fəaliyyətində paralellik və asinxronluq prinsipləri gözlənilməklə qarşılıqlı əlaqədə idarəetmə alqoritmlərinin işlənməsi məsələlərinin həlli, robototexniki kompleksləri layihələndirən mütəxəssislər kollektivlərinin prioritet istiqamətlərindən biridir.

Qeyd edək ki, ÇİS-in əsas komponentləri olan ÇİM-lər öz daxillərində bir-biri ilə ortaq işçi zonalarda qarşılıqlı əlaqədə fəaliyyət göstərən MQ-lar toplusundan təşkil olunur və asinxron avtomatlar kimi digər ÇİM-lərlə sinxronlaşdırma şərtləri gözlənilməklə ÇİS-in idarəetmə sistemi (İS) ilə koordinasiyalı idarə olunur. ÇİM-lərin MQ-ları əksər hallarda qeyri-müəyyənlik şəraitində

qeyri-səlistlik şərtləri çərçivəsində fəaliyyət göstərir. Göstərilən hala situasiyalardan asılı olaraq ÇİM-lərin bir-biri ilə son məqsədə nail olmaq üçün qarşılıqlı əlaqədə fəaliyyətlərində də rast gəlinir. Odur ki, onların koordinasiyalı idarə olunması üçün ənənəvi üsullar özünü doğrultmadığından, biliklərə və süni intellekt elementlərinə əsaslanan yanaşmaların, model və alqoritmlərin işlənməsi tələb olunur.

ÇİM-lərin ayrı-ayrılıqda və ÇİS-in fiziki modellərinin sınaq və tətbiq mərhələlərində tədqiqi çətin və bəzi hallarda mümkünsüz olduğu üçün onların layihələndirilməsinin bütün mərhələlərində kompüter modelləşdirilməsi metodlarının tətbiqi mühüm əhəmiyyət kəsb edir.

**İcmalda**, DDMS-in, o cümlədən həmin kateqoriyaya aid edilən ÇİS-in layihələndirmə mərhələlərində kompüter modelləşdirilməsi üsulları ilə tədqiqinin müasir vəziyyətinin təhlili və mövcud üsulların, işlənmiş model və alqoritmlərin müqayisəli analizi məsələlərinə baxılır.

Məlum olduğu kimi kompüter modelləşdirilməsi fərdi kompüterlərin yaranması ilə geniş istifadə sahəsi tapdı. Bu onunla əlaqədardır ki, fərdi kompüterlər qrafiki displey və proqram təminatı əsasında müasir vizual modelləşdirmə alətinin meydana çıxmasını təmin etdi. Kifayət qədər tam analitik və alqoritmik modellərin ciddi riyazi yazılışı əvəzinə, vizual modelləşdirmə modelin yazılışında qrafiki formadan istifadə edir və tədqiqatın nəticəsini görünüşlə təsvir etməyə imkan yaradır.

Modelləşdirilən sistemin qrafiki təsvirinin əsas elementi bir-biri ilə funksional əlaqə ilə birləşdirilən və ayrı-ayrı komponentlərin obrazlarından qurulmuş struktur sxemdir. Nəticələrin təsviri üçün riyazi qrafika, eyni zamanda iki və üçölçülü animasiyadan istifadə olunur.

İstənilən obyektin sistemli analiz üsulları ilə tədqiqində obyektin modelini qurmaq lazımdır. Modelləşdirmə yaradıcı proses olmaqla, onu yerinə yetirəndən riyazi biliklərə, praktiki vərdislərə və əvvəlcədən tədqiqatların nəticələrini görmək bacarığına malik olmağı tələb edir.

[1]-də mürəkkəb dinamik sistemlərin vizual modelləşdirilməsində müasir kompüter texnologiyalarından istifadə edilməsi məsələlərinə baxılır. Bu məqsədlə hibrid sistemlər anlayışı müzakirə edilməklə, müxtəlif fiziki xassələrə malik olan çoxkomponentli sistemlərin layihələndirilməsində müxtəlif yanaşmalara baxılır. Müasir modelləşdirmə dilləri və vizual modelləşdirmə üçün yaradılmış qrafiki proqram vasitələrinin xüsusiyyətləri göstərilmişdir. UML universal modelləşdirmə dilinin əsas anlayışları öz şərhini tapmışdır. UML, Simulink, Model Vision Studium və Anylogic dillərindən istifadə etməklə, məsələlərin həlli metodikası verilmişdir.

[2]-də kompüter modelləşdirilməsinə daha geniş mənada baxılır. Göstərilir ki kompüter modelləşdirilməsi (KM) müxtəlif növ modellərin və uyğun modelləşdirmə üsullarının proqram realizasiyası əsasında yaradılmışdır: riyazi anlayışlarla qurulmuş və tədqiq edilən riyazi modellər; fiziki modelləşdirmə – eksperimental tədqiqat üsulları; imitasiya modelləşdirilməsi (İM). Bu halda modelin davranışı vaxt intervalında tədqiq edilir, yəni obyektin fiziki və riyazi modelləri əsasında: hündəsi modelləşdirmə – kompüterdə hündəsi obyektin tədqiqi və nəticələrin monitorda təsviri (vizualizasiya modelləri). Göstərilir ki, KM-in istifadəsinin əsas üstünlüyü ondadır ki, onunla aparılan eksperimentlər real obyektlərdə çox baha başa gəlir və olduqca mürəkkəbdir. Kompüter eksperimentlərinin hündəsi modellərlə vizualizasiyası nəticələrin daha əyani olmasını və reallığa yaxınlığını təmin edir.

Robototexniki komplekslərin işlənməsində proseslərin dinamik imitasiya modelləşdirilməsi və 3D modelləri üçün xüsusişdirilmiş proqram təminatları tələb olunur [3]. Göstərilir ki, robotun hərəkət trayektoriyasını “offline” proqramlaşdırma (OLP) üsulu ilə yaradılması bir neçə mərhələdə yerinə yetirilir: birinci mərhələdə robotlaşdırılmış sahənin bütün qovşaqlarının – detallar, texnoloji mühit, robot, alət və s.-nin dəqiq CAD modeli (Computer Aided Designed – avtomatlaşdırılmış layihələndirmə sistemi) yaradılır; ikinci mərhələdə vizual 3D mühitində texnoloji sahə modelləşdirilir; növbəti mərhələdə robot-manipulyatorun detala tərəf hərəkətinin və texnoloji əməliyyatın yerinə yetirilməsi üçün hərəkət trayektoriyasının dayaq nöqtələri hesablanır. Hərəkət trayektoriyası müəyyən tələbləri ödəməlidir: toqquşmaların olmaması; mövqeləşdirmənin keyfiyyətinin təmin edilməsi; robotun hərəkət sürətinin təmin edilməsi və s. Hərəkət

trayektoriyasının hesablanması və yoxlanışından sonra istehsalat şəraitində robotun tətbiqinin realizasiyasını təmin etmək üçün idarəedici kontrollerin alqoritmi işlənilməlidir.

Müasir kompüter texnikasını sənaye və texnikada layihələndirmə, imitasiya və sınaq vasitəsi kimi istifadə etmək olar [4]. Bu yanaşma kompüter sistemlərinin, o cümlədən stolüstü fərdi kompüterlərin məhsuldarlıqlarının yüksələn sürətlə artması nəticəsində aktuallaşmış və mümkün olmuşdur. Eyni zamanda yeni bir istiqamətin – kompüter simulyasiyasının yaranması stimullaşdırılmışdır. Ümumiyyətlə, simulyator dedikdə hər hansı bir prosesin, aparat və texniki vasitənin mexaniki və ya kompüter imitatoru (imitasiyalı idarə edilməsi), daha dəqiq desək reallığa uyğun situasiyaların imitasiyasında kompüterin istifadə edilməsi nəzərdə tutulur. Göstərilən üsul diskret xarakterli dinamik sistemlərin, o cümlədən robototexniki sistemlərin tədqiqində geniş istifadə edilir. Robototexniki simulyatorun əsas obyektı virtual robotdur, yəni virtual mühitdə yaradılan real robotun imitatorudur.

3D modelləşdirmə layihələndirilən obyektin həyat dövrünün bütün layihələndirmə mərhələlərində istifadə edilməlidir. Bu istiqamətdə çoxlu kompaniyaların 3D modelləşdirmə paket kompleksləri mövcuddur. Məsələn, metalkəsən dəzgahların layihələndirilməsində üçölçülü modellərin qurulma problemləri və tədqiqi məsələlərinə KOMPIAC-3D ALS mühitində baxılmışdır. Autodesk kompaniyasının təklif etdiyi və geniş yayılmış 3D Max paketi mühitində 3D modelləşdirmə məsələlərinə baxılır və s. [5].

3D modelləşdirmə və animasiya üsullarının sonrakı inkişafı 1955-ci ildən başlayaraq dinamik sistemlərin tədqiqi metodologiyası kimi İM-in yaranması ilə sıx əlaqədardır. Məlum olduğu kimi İM-in əsas çatışmayan cəhətlərindən biri eksperimentin gedişi müddətində prosesin izləmə bilinməməsidir, yəni nəticə ancaq proses qurtarandan sonra məlum olur. Odur ki, prosesin gedişini dinamikada izləmək üçün 3D modelləşdirmə əsasında yaradılan animasiya modelləşdirilməsi üsulları İM ilə paralel inkişaf etməyə başladı [6].

Göstərilir ki, ilk İM baza kimi FORTRAN və ALQOL universal proqramlaşdırma dilləri və onların müxtəlif versiyaları əsasında yaradılmış xüsusişəkilmiş İM dilləri istifadə edilmişdir. Sonrakı mərhələdə proses yönümlü İM dilləri və imitasiya eksperimentlərinin nəticələrinin vizual təsviri üçün animasiya proqram kompleksləri (Proof Animation) yaradıldı. Keçən əsrin 90-cı illərindən başlayaraq qeyri-proqramçı istifadəçilər üçün interfeysli, İM-in animasiyası imkanlı İM mühitli proqram kompleksləri yaradıldı.

Ümumiyyətlə, İM-in inkişaf tarixi 1960-cı ildən başlayaraq onların proqram vasitələrinin evolyusiyası əsasında bir-birini əvəzləyən altı nəsəl kimi təsniflənir və göstərilir ki, hər on ildən bir İM-in yeni, daha geniş imkanlara malik olan versiyaları yaradılmışdır. Qeyd etmək kifayətdir ki, XXI əsrin əvvəllərinə kimi xüsusişəkilmiş İM dili olan GPSS-in 20-yə qədər versiyası yaradılmışdır [7,8,9].

Müasir İM proqram vasitələri süni intellekt elementlərindən, yeni informasiya texnologiyalarından geniş istifadə etməklə yaradılır. Belə ki, modelin qurulduğu müxtəlif komponentlərdən, eyni zamanda qrafiki interfeysdən istifadə etməklə modelin yaradılması prosesi avtomatlaşdırılır və modeldə eksperimentlər təşkil edilir. Bu halda xüsusişəkilmiş kompüter mühiti (məs. Arena, Anylogic, GPSS World və s.) yaradılır ki, o da proqramlaşdırmanı komandalardan ardıcılıq şəklinə yerinə yetirilməsini tələb etmir və istifadəçilər qrafiki model kitabxanasından istifadə etməklə, standart formaları doldurmaqla modeli tərtib edirlər [10].

Göstərilir ki, geniş yayılmış GPSS versiyaları ilə bərabər Rusiyada XJ Technologies kompaniyası tərəfindən eyni bir modeldə diskret hadisə, sistem dinamikası və agenti özündə əks etdirən Anylogic modelləşdirmə sistemi işlənmişdir. Bu növ çoxşaxəli yanaşma mövcud İM-ləri üçün xarakterik deyildir və agent modelləri hətta geniş istifadə olunan GPSS World versiyasında da yaradılmamışdır. Xüsusişəkilmiş kompüter mühiti imitasiya prosesinin vizualizasiyasını, optimal həllinin axtarışını təmin etməklə, İM vasitələrini standart riyazi kompüter sistemlərinə - Simulink paketinə, Matlab, Matematika sistemlərinə və s. daxil etmək imkanına da malikdir. Bu isə öz

növbəsində həmin sistemlərin imkanlarından istifadə etməklə İM-in funksional imkanlarını genişləndirir.

Robototexniki komplekslərin modelləşdirilməsi və tədqiqi üçün müasir İM proqram komplekslərinin yaradılmasında əsas tendensiyalardan biri onların geniş təyinatlı kitabxanalarının yaradılması və İM proqram komplekslərində layihələndirilmiş komponentlərdən öz məqsədlərinə çatmaq üçün istifadə etmək imkanlarına malik olmasıdır. ABB RobotStudio modelləşdirmə proqramında bu problemin həlli öz əksini tapmışdır. Belə ki, bu proqram kompleksi özünəməxsus geniş təyinatlı kitabxanaya malik olmaqla bərabər, həmin kitabxanayı yeni CAD modellər ilə zənginləşdirə bilir [11, 12, 13].

ÇİS-in İM-də məsələnin həllinə yönümlü universal proqramlaşdırma dillərindən və proseslərin proqramlaşdırılmasına yönümlü xüsusişdirilmiş İM dillərindən istifadə etməklə kompüter eksperimentləri mürəkkəbləşdiyindən, səmərəli hesab edilmədiyindən bu məqsədlə süni intellekt üsullarına əsaslanan problemyönümlü İM sistemlərinin işlənməsi aktualdır. Ancaq əksər proqramlar proqramçıya deyil, sistem analitiklərinə yönümlü olduğundan istifadəçidən modelləşdirilən obyekt haqqında biliklərdən başqa kompüter elmləri sahəsində də biliklərə malik olmağı tələb edir. Digər tərəfdən bu növ İM proqram kompleksləri qeyri-müəyyənlik şəraitində fəaliyyət göstərən dinamik sistemlərin İM və tədqiqi üçün səmərəli hesab edilmir. Problemin həlli konkret predmet sahəsinin modelləşdirilməsi üçün lokal İM sistemlərinin yaradılması perspektiv istiqamət hesab edilir.

İM-in müxtəlif tətbiq sahələrində tələbatın artmasına baxmayaraq, həmin sahələrin potensial istifadəçilərinin İM, kompüter modelləşdirilməsi və animasiya üsullarının nəzəri və praktiki əsasları bəzə də əsaslı biliklərinin məhdudluğu, onların İM proqram komplekslərindən geniş istifadə edə bilməməsi ilə nəticələnir. Süni intellekt elementləri əsasında yaradılan İM-in intellektual vasitələri olan G2, ReThink, Arena, RDO və başqa intellektual sistemlər İM-də müəyyən məsələlərin həllini yerinə yetirirsə də bu istiqamətdə hələ də həlli tələb olunan məsələlər mövcuddur. Uğurlu yanaşma kimi Bauman adına MDTU-da RDO dilində İM-nin işlənməsi və sazlanması üçün yaradılmış RAO Studio proqram kompleksini göstərmək olar [14, 15].

ÇİS-in çoxsaylı spesifik xüsusiyyətləri mövcuddur ki, analitik modellərdə onları nəzərə almaq əksər hallarda mümkün olmur və ÇİS-in dinamikada tədqiqinə imkan vermir. Odur ki, ÇİS-in xüsusiyyətlərini nəzərə alan, qarşılıqlı əlaqədə fəaliyyət göstərən alt sistemlərinin texnoloji, nəqliyyat-tutum idarə sistemi və s., vahid model şəklində tədqiq etmək lazımdır. Bu halda ÇİS-in layihələndirilməsi onun komponentlərinin ayrı-ayrılıqda və ÇİS-in kompleks şəkildə bütövlükdə təsvirlərinin yaradılmasından ibarətdir. Odur ki, ÇİS-in tam tədqiqi kompüter modelləşdirməsinə əsaslanan istehsal sistemlərinin İM-dir və imitasiyanın nəticələrinin animasiya üsulları ilə təsviridir.

Göstərilir ki, ÇİS-in layihələndirilməsində texnoloji, təşkilati və idarəetmə xarakterli yanaşmadan yararlanmaq lazımdır. ÇİS-in strukturu iyerarxiyalı olduğundan onun idarəetmə sistemi də iyerarxiyalı struktura malik olur və altsistemlərin qarşılıqlı əlaqəsi mərkəzi idarəedicilə kompüter vasitəsilə yerinə yetirilir. Bu halda idarəetmə sistemi paralel fəaliyyətli komponentlərin işini yüksək sürətli müasir kompüterlərin psevdoparalellik xassəsindən istifadə etməklə təmin edir. Psevdoparalellik prinsipinin əsas çatışmamazlığı ondan ibarətdir ki, mərkəzi kompüterdə yaranan problemlər bütün idarəetmə sistemini, o cümlədən ÇİS-in fəaliyyətini iflic vəziyyətə salır. Bu problemi həll etmək üçün robot və ya ÇİM “kollektiv”lərini idarə etmək üçün multiagent idarəetmədən istifadə etmək aktuallaşır [16].

Son vaxtlar robotların “kollektiv” davranışını modelləşdirmək və tədqiq etmək üçün yeni bir istiqamət – qrup, “sürü” texnologiyası üsullarından istifadə etməklə idarəetmə sistemlərinin yaradılması aktuallaşır. Özü-özünü təşkil etmə, adaptasiya və etalogiya prinsipləri əsasında davranışlarını həyata keçirən obyektlər aşağıdakı kimi təsnif olunur: mobil robotlar (sualtı, suüstü, yeraltı, yerüstü və s.); canlı orqanizmlər (həşəratlar, quşlar, heyvanlar, insanlar); virtual obyektlər (proqram agentləri, informasiyalar, psixoloji, sosial və siyasi hadisələr). Göstərilir ki, bu texnologiyanın inkişafı mürəkkəb xarakterli diskret dinamik sistemlərin də tədqiqində perspektivli istiqamət hesab olunacaqdır [17].

Diskret dinamik sistemlərin, xüsusən də bu kateqoriyaya aid edilən ÇİS-in modelləşdirilməsi və kompüter eksperimentləri ilə tədqiqinin mövcud vəziyyətinin araşdırılması, bu məqsədlə istifadə edilən modelləşdirmə üsullarının inkişafı mərhələləri və müqayisəli analizi, bu sahədə görüləcək nəzəri elmi-tədqiqat və praktiki işlərin aşağıdakı prioritet istiqamətlərinin həyata keçirilməsini stimullaşdırır.

1. Mürəkkəb xarakterli diskret dinamik sistemlərin layihələndirilməsinin bütün mərhələlərində, xüsusən də sistemotexniki layihələndirmə mərhələsində, layihələndirilən obyektin yaradılmasının məqsəduyğunluğunu qiymətləndirmək üçün kompüter modelləşdirilməsi prinsiplərinə əsaslanan imitasiya modelləşdirilməsi proqram komplekslərindən istifadə etmək və imitasiyanın nəticələrinin animasiya üsulları ilə iki və üçölçülü fəzada tədqiqi səmərəli yanaşma olmaqla daha da təkmilləşdirilməlidir.

2. İmitasiya modelləşdirilməsi və onun nəticələrinin dinamikasının təsvirləri üçün istifadə edilən animasiya proqram kompleksləri 1960-cı ildən başlayaraq hər on ildən bir evolyusiya - bir-birini əvəzləmə yolu ilə altı nəsillik bir həyat dövrü – universal proqramlaşdırma dilləri əsasında İM-dən, süni intellekt elementləri əsasında yaradılan intellektual İM-nə kimi, keçmişdir. Göstərilən İM proqram kompleksləri peşəkar İM mütəxəssislərinə yönümlü olmaqla, demək olar ki, potensial istifadəçilər, yəni konkret predmet sahələrinin mütəxəssisləri üçün əlyətərli deyildi və onlardan əlavə olaraq kompüter biliklərinə yüksək səviyyədə nail olmaları tələb olunurdu.

3. İM-in növbəti nəsillərinin yaradılması müasir informasiya texnologiyalarından, süni intellekt elementləri və multiagentli idarəetmə əsasında potensial istifadəçiyə yönümlü intellektual interfeysli İM və animasiya komplekslərinin işlənməsi istiqamətində inkişaf edəcəkdir.

4. İM və animasiya proqram komplekslərinin inkişafında digər konsepsiya mövcud yüksəkfunksional imkanlara malik modelləşdirmə sistemləri mühitində fəaliyyət göstərmək imkanına malik və öz predmet sahələrinin yüksəkixtisaslı mütəxəssisləri olan potensial istifadəçilərə yönümlü lokal İM və animasiya üsulları proqram komplekslərinin işlənməsidir.

## ƏDƏBİYYAT

1. Бенькович Е.С., Колесов Ю.Б., Сениченков Ю.Б. Практическое моделирование динамических систем. СПб.: БХВ–Петербург, 2002, 464 с.
2. Горбатов В.А., Федоров Н.В., Аристов А.О. Проектирование и исследование динамических моделей горных машин на основе скриптов трехмерных графических редакторов // ГИАБ, № 6, 2010, с. 199-205
3. Лобарева Л.А. Программное обеспечение OLP промышленных роботов-манипуляторов // Вестник Полоцкого государственного университета, серия С, 2018.
4. Частиков А.П., Глушко С.П., Тотухов К.Е. Компьютерная симуляция программного управления виртуальным роботом: монография // LAP LAMBERT Academic Publishing, 2012, 145 с.
5. Курьшкин Н.П. Основы робототехники: учеб. пособ. / Н.П.Курьшкин, ФГБОУ ВПО «Кузбас. Гос. Техн. Ун-т им. Т.Ф. Горбачева», Кемерово: КузГТО, 2012, 168 с.
6. Конюх В.Л., Игнатъев Е.Я., Зиновьев Я.Б. Развитие средств имитационного моделирования / Имитационное моделирование. Теория и практика. ИММОД-2005 :сб. докл. 2-й всерос. науч.-практ. конф., Санкт-Петербург, 19-21 окт. № 1. СПб., 2005, с.122-126
7. Markowitz H. "SIMSCRIPT", Encyclopedia of Computer Science and technology, Eds: Belzer I., Holzman A.G. and Kent A., Marcel Dek Ver, Inc. 1971.
8. Прицкер А. Введение в имитационное моделирование и язык SLAM II, М.: Мир, 1987, 646 с.
9. Богдан В.Б. Становление и развитие имитационного моделирования на Украине / Богдан В.Б., Гусев В.В., Марьянович Т.П., Сахнюк М.А.  
<http://www.gpss.ru/immod03/011.html>
10. Боев В.Д. Исследование адекватности GPSS и Anylogic при моделировании дискретно-событийных процессов: монография, СПб.: ВАС, 2011, 404 с.

11. [www.autodesk.ru](http://www.autodesk.ru)
12. [www.mssoftware.com](http://www.mssoftware.com)
13. [www.abb.com](http://www.abb.com)
14. Əhmədov M.A., Əhmədov S.M., Məhəmmədli H.M., Xəlilov E.O. Çevik istehsal sistemlərinin imitasiya modelləşdirilməsində süni intellekt üsullarının tətbiqinin müqayisəli analizi // SDU. Elmi xəbərlər. Təbiət və texniki elmlər bölməsi, c. 13, № 2, 2013, s. 35-42
15. Емельянов В.В., Ясиновский С.И. Имитационное моделирование систем. Учеб. пособ. М.: МГТУ им. Баумана, 2009, 584 с.
16. Рыжова Т.П. Система управления коллективом мобильных роботов: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук, 2013.
17. Бубин А.Р., Бурдин И.Е. Краткий обзор исследований и разработок в области моделирования стайных робототехнических систем. [www.intelonics.com](http://www.intelonics.com)

### РЕЗЮМЕ

#### АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩЕГО СОСТОЯНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИСКРЕТНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ ИМИТАЦИОННЫМ МОДЕЛИРОВАНИЕМ И АНИМАЦИЕЙ РЕЗУЛЬТАТОВ ИМИТАЦИИ.

*Халилов Э.О.*

**Ключевые слова:** имитация, анимация, 3D моделирование, компьютерное моделирование

Статья посвящена вопросам создания современных гибких производственных систем, относящихся к категории динамических сложных систем дискретного типа, и вопросам решения разработки алгоритмов управления с учетом моделирования на этапе проектирования «коллектива» гибких производственных модулей, состоящих из многочисленных мехатронных устройств, исследования на основе компьютерных экспериментов и с соблюдением принципов параллелизма и асинхронности в деятельности реального объекта. Показаны приоритетные направления исследований коллектива специалистов в области робототехнических комплексов. Проведен анализ динамического имитационного моделирования процессов и рассмотрена работа специализированного программного обеспечения для 3D моделей. Проведен анализ современного состояния процесса разработки комплекса программ имитационного моделирования, с использованием методов анимации, на основе компьютерных экспериментов рассмотрены задачи исследования результатов имитации.

### SUMMARY

#### ANALYSIS OF THE EXISTING CONDITION OF RESEARCH OF DISCRETE DYNAMIC SYSTEMS BY IMITATION MODELING AND ANIMATION OF THE IMITATION RESULTS

*Khalilov E.O.*

**Key words:** imitation, animation, 3D modeling, computer modeling

The article is devoted to the creation of modern flexible production systems belonging to the category of dynamic complex systems of discrete type, and the solution of developing control algorithms taking into account the modeling at the design stage of the “team” of flexible production modules consisting of numerous mechatronic devices, research based on computer experiments and observance of the principles of parallelism and asynchrony in the activity of a real object. The priority research directions of the team of specialists in the field of robotic complexes are shown. The analysis of dynamic simulation modeling of processes was carried out and the work of specialized software for 3D models was considered. The analysis of the current state of the process of developing a set of simulation programs using the methods of animation based on computer experiments, the problems of studying the results of imitation are considered.

Daxilolma tarixi:	İlkin variant	15.07.2019
	Son variant	25.09.2019