

НАЦЫЯНАЛЬНАЯ АКАДЭМІЯ НАВУК БЕЛАРУСІ  
ІНСТЫТУТ ТЭХНІЧНАЙ КІБЕРНЕТЫКІ

УДК 658.512.22.011.56

ГАНЧАРОВА Святлана Аляксандраўна

ГЕАМЕТРЫЧНАЕ КАНСТРУЯВАННЕ НА АСНОВЕ  
МАТЭМАТЫЧНЫХ І КІБЕРНЕТЫЧНЫХ МЕХАНІЗМАЎ  
ІЕРАРХІЧНЫХ МНОГАЎЗРОЎНЕВЫХ СІСТЭМ

05.13.12 - Сістэмы аўтаматызацыі праектавання

АЎТАРЭФЕРАТ

дысертацыі на суісканне вучонай ступені  
кандыдата тэхнічных навук

Мінск - 2000

Работа выканана ў Беларускам універсітэце культуры.

Навуковы кіраўнік - кандыдат тэхнічных навук, дацэнт Бураўкін А.Г.

Афіцыйныя апаненты: доктар тэхнічных навук, прафесар Старадзетка Я.А.;

кандыдат тэхнічных навук, Лук'яновіч І.Р.

Апаніруючая арганізацыя - Канцэрн «Планар», г.Мінск.

Абарона адбудзецца «\_18\_»\_апреля\_2000\_г.\_ў\_14:15\_на паседжанні савета па абароне дысертацый Д01.04.01 пры Інстытуце тэхнічнай кібернетыкі НАН Беларусі па адрасу: 220012, г.Мінск, вул.Сурганова, 6, канферэнц-зал, тэл.284-20-84.

З дысертацыяй магчыма азнаёміцца ў бібліятэцы Інстытута тэхнічнай кібернетыкі НАН Беларусі.

Аўтарэферат разасланы «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2000г.

Вучоны сакратар  
савета па абароне дысертацый,  
доктар тэхнічных навук

П.М.Бібіла

## АГУЛЬНАЯ ХАРАКТАРЫСТЫКА РАБОТЫ

**Актуальнасць тэмы.** Працэс стварэння геаметрычнага прадстаўлення (геаметрычнага выразу) аб'екта канструявання, які звычайна называецца геаметрычным канструяваннем, ляжыць у аснове сістэм аўтаматызаванага праектавання (САПР), інжыернага аналіза і тэхналагічнай падрыхтоўкі вытворчасці. Геаметрычнае канструяванне зараз склалася ў самастойны кірунак агульнай тэорыі і практыкі САПР, а сістэмы геаметрычнага канструявання разглядаюцца як асноўныя падсістэмы САПР. Такім чынам геаметрычны выраз аб'екта канструявання мусіць быць узгоднены з усімі стадыямі працэса аўтаматызаванага канструявання. Асаблівую значнасць гэты выраз мае ў разліках рухаў і дэфармацый у задачах інжыернага аналіза.

З развіццём вылічальнай тэхнікі пашыраецца круг метадаў, якія ўжываюцца для рашэння задач геаметрычнага канструявання. Распрацоўка геаметрычных выказаў і даследаванне іх уласцівасцяў прыцягвае пільную ўвагу ва ўсім свеце. Найбольш значныя поспехі ў стварэнні матэматычнага і праграмага забеспячэння сістэм прадстаўлення і апрацоўкі графічнай інфармацыі і геаметрычнага канструявання належаць ЗША, Японіі і некаторым краінам Заходняй Еўропы.

У сучасных сістэмах аўтаматызаванага канструявання можна выдзеліць два асноўныя класы геаметрычных выказаў - гранічнае прадстаўленне (Boundary Representation, BR) і канструктыўная геаметрыя 3-мерных аб'ектаў (Constructive Solid Geometry, CSG). Згаданыя прадстаўленні арыентаваны на адасобленае даследаванне руху і дэфармацыі аб'екта канструявання і не ўлічваюць іх сувязі.

Немагчымасць рашэння задач узгодненага змянення структур розных узроўняў (сувязі рухаў і дэфармацый) абумоўлена, у першую чаргу, абмежаванасцю існуючага тэарэтычнага апарата, які звязвае геаметрыю аб'ектаў і іх навакольнага свету з фізічнымі, хімічнымі, тэхнічнымі і іншымі характарыстыкамі. У задачах канструявання аб'ектаў названых класаў неабходна ўлічваць гэтую сувязь рухаў сістэм з дэфармацыямі іх структур, або, іншымі словамі, сувязь дэфармацый структур на розных узроўнях, ці сувязь рухаў розных узроўняў.

Распаўсюджаныя метады імітацыі рухаў і дэфармацый (інтэгралыферэнцыяльныя ўраўненні, метады канечных і гранічных элементаў) не арыентаваны на рашэнні такіх задач і разглядаюць рухі і дэфармацыі адасоблена, не ўлічваючы іх міжузроўневыя сувязі ў іерархічнай прасторы. Іх прымяненне для азначаных мэт патрабуе стварэння складаных комплексаў мадэляў, вялікіх выдаткаў машынных рэсурсаў і абмежавана адносна простымі выпадкамі. Інакш кажучы, вядомыя кірункі тэарэтыка-

множай матэматыкі не дазваляюць разглядаць гэтыя з'явы разам. Такім чынам, заснаваная на іерархічных з'явах значная частка задач інжынернага аналізу, кіравання рухам біямеханічных сістэм (непасрэдна абумоўленым дынамікай іх структур) і г.д. застаецца недастаткова фармалізаванай у тэарэтыка-множным апарате. Таму распрацоўка тэарэтычных сродкаў імітацыі рухаў і дэфармацый з'яўляецца актуальнай.

**Сувязь работы з вялікімі навуковымі праграмамі і тэмамі.** Работа выканана на кафедры інфармацыйных тэхналогій у культуры Беларускага ўніверсітэта культуры, ў лабараторыі іерархічных многаўзроўневых сістэм (ІМК) і ў Інстытуце тэхнічнай кібернетыкі НАН Беларусі ў рамках наступных НДР: мэтавай комплекснай навукова-тэхнічнай праграмай О.Ц.027, а таксама ў адпаведнасці з комплекснай праграмай "Машынабудаванне" Рэспублікі Беларусь, пастановамі дырэктываў органаў, міжгаліновай комплекснай рэспубліканскай навукова-тэхнічнай праграмай па інфарматыцы, праектам АМЕТMAS-№E-CP96-0026 праграмы INCO- COPERNICUS Еўрапейскага Саюза.

**Мэта і задачы даследавання.** Мэтай работы з'яўляецца пашырэнне функцыянальных магчымасцей САПР, скарачэнне тэрмінаў праектавання і палепшэнне якасці праектных рашэнняў праз распрацоўку і даследаванне геаметрычных выказаў, арыентаваных на задачы дынамікі аб'ёмных цел у неаднародных прасторах з улікам сувязі аб'екта канструявання, яго навакольнага свету і сістэмы кіравання.

Гэтыя выразы павінны ўключаць апісанне геаметрыі і фізічных уласцівасцяў сістэм розных узроўняў і дазваляць звязаць дынаміку іх структур.

Акрамя гэтага яны павінны даваць магчымасць імітаваць мэтанакіраваныя паводзіны сістэм ва ўмовах рознай неакрэсленасці іх ведаў аб дынамічным неаднародным навакольным свеце, у якім адбываецца іх рух (напрыклад, у выпадках навучання кіраванню новымі тэхнічнымі сродкамі, калі з цягам часу адбываецца адаптацыя да незнаёмай раней сістэмы і рухі атрымліваюцца ўсё болей хуткімі і дакладнымі).

Для дасягнення пастаўленай мэты неабходна рашыць наступныя асноўныя задачы:

- стварэнне агульнага азначэння геаметрычнага аб'екта ў выглядзе іерархічнай многаўзроўневай сістэмы, інварыянтнай адносна прыроды сістэм і тым самым дазваляючай звязаць геаметрычную інфармацыю з параметрамі іншых этапаў у сістэмах канструявання;
- стварэнне звязаных выказаў геаметрычных аб'ектаў рознай размернасці (кропкі, лініі, паверхні і аб'ёмныя целы) як асобных выпадкаў агульнай канструкцыі;
- стварэнне сістэмы дзеянняў з геаметрычнымі аб'ектамі;
- азначэнне ў тэрмінах двухузроўневай сістэмы рухаў і дэфармацый рознай

прыроды (ад фізічнай да біямеханічнай) і розных ўзроўняў неакрэсленасці ведаў аб структурах і дынаміцы рухомах сістэм і прастораў, у якіх выконваюцца рухі.

**Аб'ект і прадмет даследавання:** тэарэтычныя і праграмныя сродкі прадстаўлення геаметрычнай інфармацыі, імітацыі звязаных рухаў і дэфармацый у сістэмах аўтаматызаванага праектавання.

**Метадалогія і метады праведзенага даследавання.** Базавым тэарэтычным апаратам для рашэння пастаўленых задач з'яўляецца тэорыя іерархічных многаўзроўневых сістэм. Акрамя гэтага, прыменена таксама геаметрыя (у тым ліку тапалогія), алгебра (групы, кольцы, палі сапраўдных і камплексных лікаў, лінейныя прасторы), тэорыя дынамічных сістэм і тэорыя аўтаматызаванага праектавання складаных тэхнічных аб'ектаў.

**Навуковая навізна і значнасць атрыманых вынікаў.** Распрацаваныя выразы уключаюць апісанне геаметрыі і фізічных уласцівасцей сістэм розных узроўняў і дазваляюць звязаць дынаміку іх структур.

Акрамя гэтага, яны даюць магчымасць імітаваць мэтанакіраваныя паводзіны сістэм ва ўмовах рознай неакрэсленасці іх інфармацыі аб дынамічным неаднародным навакольным свеце, у якім адбываецца іх рух.

Прапануемая іерархічная многаўзроўневая сістэма геаметрычных выказаў аб'ёмных цел адрозніваецца ад раней вядомых геаметрычных прадстаўленняў наяўнасцю структур у геаметрычных аб'ектаў любой размернасці, бесперапынным спалучэннем дыскрэтных сістэм сваімі элементамі (дэталямі) больш нізкіх узроўняў, магчымасцю змянення тапалагічных характарыстык аб'ектаў са змяненнем іх маштабаў, міжузроўневымі сувязямі геаметрычных параметраў з фізічнымі характарыстыкамі сістэм, узгодненым змяненнем структур розных узроўняў.

Сістэма выказаў, якая мае згаданыя ўласцівасці, з'яўляецца прынцыпова новай, а задача яе пабудовы - актуальнай і практычна значнай у сучасных сістэмах аўтаматызаванага канструявання тэхнічных і біямеханічных аб'ектаў.

**Практычная і эканамічная значнасць атрыманых вынікаў.** Навуковыя вынікі дысертацыі (іерархічная сістэма геаметрычных выказаў, метады і алгарытмы ўтварэння сістэм рознай размернасці і разліку іх рухаў і дэфармацый) выкарыстаны ў навукова-даследчых і вопытна-канструктарскіх праектах у вытворчым аб'яднанні "Экран" (у сродках САПР тэхналагічнай падрыхтоўкі вытворчасці), у Гандлёва-прамысловым саюзе («Тэхналогія канструявання машын у іерархічных многаўзроўневых сістэмах») і ў НДІ ЛТ МВА "Гарызонт" (пры стварэнні ПК для распрацоўкі апаратуры аўтаматызаванай рэгуліроўкі і кантроля лічбавых тэлевізараў); згаданыя выразы, алгарытмы і праграмныя сродкі азначэння і разліку рухаў выкарыстаны пры стварэнні інтэграванай базы звестак спецыфікацый электрарухавіка і сістэмы базавых сімвалаў, праграмнага і мікрапраграмнага

забеспячэння многаўзроўневай сістэмай кіравання лазерным устройствам маркіроўкі на Магілёўскім заводзе «Электрарухавік», а таксама у праектах АМЕТMAS-№E-CP96-0026 і ICIMS-№E праграмы INCO- COPERNICUS Еўрапейскага Саюза.

Матэрыялы дысертацыі выкарыстаны ў навучальным працэсе Беларускага універсітэта культуры (па курсу "Камп'ютэрная графіка"), Вучэбнага Цэнтра павышэння кваліфікацыі вышэйшых інжынерных кадраў прадпрыемстваў радыётэхнічнай, электроннай, электратэхнічнай, оптыка-механічнай і прыбора-будаўнічай галін Міністэрства прамысловасці пры БДПА "Кадры індустрыі" («Сучасныя тэхналогіі і паляпшэнне эфектыўнасці вытворчасці») і гімназіі-каледжа № 24.

Эксперыментальная і вопытна-канструктарская праверка прапануемых у рабоце мадэляў, метадаў і праграмных сродкаў паказала, што іх выкарыстанне дазваляе значна паменшыць выдаткі пры рашэнні праектных задач, скараціць тэрміны праектавання, пашырыць функцыянальныя магчымасці САПР.

Рэкамендацыі па выкарыстанню - прапанаваная сістэма геаметрычных выказаў і распрацаваныя метады аналізу рухаў і дэфармацый могуць быць выкарыстаны як для праектавання геаметрычных аб'ектаў, так і для імітацыі змены рэальных сістэм і стварэння механізмаў кіравання імі.

#### **Агульныя палажэнні, вынесеныя на абарону.**

1. Сістэма выказаў геаметрычнага аб'екта, якая ўтрымлівае элементы рознай размернасці, узгодненая з раней вядомымі сродкамі праектавання і апрацоўкі ведаў у САПР і адпаведная патрабаванням усіх этапаў працэса канструявання; спосабы азначэння і разліку канструктыўнай размернасці і звязанасці сістэм; спосабы пабудовы сістэм любой размернасці і звязанасці.

2. Сістэма дзеянняў з геаметрычнымі аб'ектамі, якая імітуе ўзгодненую дынаміку структур розных узроўняў, дазваляе кіраваць зменамі геаметрычных выказаў; спосаб пабудовы сістэмных канстант для сувязі атрыманых дзеянняў з арыфметычнымі.

3. Азначэнне сродкамі іерархічных многаўзроўневых сістэм фізічных характарыстык, рухаў і дэфармацый аб'ёмных цел; спосаб кіравання рухамі і дэфармацыямі, звязаны да задачы каардынацыі стандартнага блока іерархічнай многаўзроўневай сістэмы; стратыфікацыя рухаў і дэфармацый па іх прыродзе і па ўзроўнях неакрэсленасці ведаў ў іх выказах.

4. Алгарытмы кіравання ўтварэннем формы і рухамі з пераносам масы; спосаб накладання канструктыўных абмежаванняў праз узаемадзеянні сумежных элементаў.

**Асабісты ўклад суіскальніка.** Асноўныя вынікі дысертацыі атрыманы асабіста аўтарам. У апублікаваных сумесных працах удзел аўтара

заклучаўся ў распрацоўцы матэматычных выказаў, праграмных сродкаў, спосабаў рашэнняў канкрэтных задач геаметрычнага канструявання, эксперыментальнай праверцы прапанаваных вынікаў і іх укараненні ў вытворчасць і навучальны працэс.

**Апрабацыя вынікаў дысертацыі.** Вынікі дысертацыйнай работы дакладваліся на Усесаюзнай канферэнцыі маладых вучоных і спецыялістаў (ІПК АН СССР, 1988г.); Усесаюзнай канферэнцыі па камп'ютэрнай картаграфіі (Мінск, 1988г.); Усесаюзнай канферэнцыі "Метады і сродкі апрацоўкі складанай графічнай інфармацыі" (Ніжні Ноўгарад, 1988г.); Усесаюзнай навукова-тэхнічнай канферэнцыі "САПР у кузнечна-штампавачнай вытворчасці" (Екацерынбург, 1988г.); Усесаюзнай школе-семінары "Распаралельванне апрацоўкі інфармацыі" (Львоў, 1989г.); Усесаюзным сімпозіуме "Арганізацыя і кіраванне" (Мінск, 1989г.); двух канферэнцыях па эрганоміцы (Мінск, 1988г.; Севастопаль, 1989г.); 7 Міжнароднай канферэнцыі па тэхнічнаму канструяванню ICED'90 (Дуброўнік, Харватыя, 1990); Усесаюзнай школе-семінары па біямалекулярнаму камп'ютынгу (Масква, 1991); 8 Міжнародным сімпозіуме па модульным інфармацыйным вылічальным сістэмам і сеткам ICS-NET'91 (Дубна, Расія, 1991); 19 Міжнароднай канферэнцыі "Інфармацыйныя сродкі і тэхналогіі" (Масква, 1993); 9 і 11 Міжнародных канферэнцыях па матэматычнаму і камп'ютэрнаму мадэляванню ICMCM (Берклі, 1993 і Вашынгтон, 1997, ЗША); IFAC/IFORS/IMACS сімпозіуме па буйнамасштабным сістэмам LSS (Лондан, 1995; Грэцыя, 1998); Рэспубліканскай навукова-тэхнічнай канферэнцыі "Аўтаматычны кантроль і кіраванне вытворчымі працэсамі" (Мінск, 1995); Міжнароднай канферэнцыі ICIMS-NOE on ASI in Life Cycle Approaches to Production Systems: Management, Control, Supervision - ASI'96 (Тулуза, Францыя, 1996; Будапешт, Венгрыя, 1997г.); Міжнароднай матэматычнай канферэнцыі «Еругінскія чытанні» (Магілёў, 1998г.); шэрагу семінараў Еўрапейскай сеткі па сучасным тэхналогіям і сродкам для вытворчых сістэм AMETMAS-NoE (Грэцыя, 1997; Масква, 1998; Мінск, 1998; Санкт-Пецярбург, 1999).

**Апублікаванне вынікаў.** Па матэрыялах дысертацыі апублікавана 36 друкаваных прац, у тым ліку 1 артыкул у міжнародным навуковым часопісе, 4 артыкулы ў навуковых зборніках, 13 артыкулаў у матэрыялах міжнародных канферэнцый і сімпозіумаў, 2 прэпрынты, 1 артыкул дэпаніраваны у УНІТІ, 15 тэзісаў дакладаў на міжнародных і рэспубліканскіх канферэнцыях. Агульная колькасць старонак апублікаваных матэрыялаў складае 187.

**Структура і аб'ём дысертацыі.** Дысертацыя выкладзена на 133 старонках і складаецца з уводзін, агульнай характарыстыкі работы, асноўнай

часткі з 5 глаў на 96 старонках, заключэння, у тым ліку ўключае 18 малюнкаў, спіс літаратуры з 127 найменаванняў на 9 старонках, дадатак, у якім утрымліваюцца акты аб укараненні вынікаў работы і які займае 13 старонак.

## ЗМЕСТ РАБОТЫ

Глава 1 утрымлівае аналітычны агляд геаметрычных выказаў (мадэляў) у сучасных сістэмах канструявання і апрацоўкі відэаінфармацыі, які дазваляе адзначыць навізну, актуальнасць і практычную значнасць абараняемай працы. Разгледжаны падыходы да прадстаўлення геаметрычных мадэляў, прааналізаваны найбольш значныя вынікі ў галіне сістэм прадстаўлення і апрацоўкі графічнай інфармацыі і геаметрычнага канструявання, рэалізаваныя ў САПР; прыведзены дадзеныя па размеркаванню класаў геаметрычных выказаў у сучасных сістэмах канструявання, іх характарыстыка, спосабы іх матэматычнага азначэння. У выніку аналіза выяўлены недахопы, якія ёсць у вядомых падыходах, абмежаванні мадэляў і цяжкасці іх пераадолення традыцыйнымі метадамі. Разгледжана магчымасць выкарыстання метадаў тэорыі іерархічных многаўзроўневых сістэм для пастаўленай задачы, азначаны магчымыя шляхі яе рашэння.

Далей у главе 1 прыведзены неабходныя звесткі з тэорыі іерархічных многаўзроўневых сістэм. Дадзена матэматычнае азначэнне іерархічнай многаўзроўневай сістэмы  $S^\ell$ . Паказана, што тэорыя іерархічных многаўзроўневых сістэм узгоднена з іншымі інфармацыйнымі мадэлямі і ўдасканалвае асноўныя характарыстыкі найбольш удалых з іх - дынамічнай сістэмы  $(\bar{\rho}, \bar{\varphi})$  і лікавай пазіцыйнай сістэмы  $L^S$ .

Выраз  $S^\ell$  уключае звязаныя каардынатарам (сістэмай кіравання)  $S_0^\ell$  выразы аб'екта  ${}_o S^\ell$ , яго навакольнага свету  ${}_\omega S^\ell$ , працэса  ${}_o P^\ell$ , які выконваецца аб'ектам  ${}_o S^\ell$  у  ${}_\omega S^\ell$ , працэсу  ${}_\omega P^\ell$ , якім сістэма  ${}_\omega S^\ell$  змяняе  ${}_o S^\ell$ .

Двухузроўневая сістэма задаецца наступным чынам:

$$S^\ell \leftrightarrow \{\omega, S_0, \sigma\}^\ell \quad (1)$$

дзе  $\omega^\ell$  - аграгаваная дынамічная рэалізацыя  $S^\ell$ ,  $\sigma^\ell$  - структура  $S^\ell$ ,

$S_0^\ell$  - каардынатар,  $\ell$  - індэкс узроўня,  $\ell \in L^S$ ;

$L^S$  - лікавая пазіцыйная сістэма, да якой таксама належаць наборы  $I^\ell$  (велічыні  $m^\ell$ ) індэксаў на адпаведных узроўнях  $\ell$ ;



$$\omega^\ell \leftrightarrow \{\tilde{\omega}, S_0\}^\ell, \quad \sigma^\ell \leftrightarrow \{S_0, \tilde{\sigma}\}^\ell,$$

$$\tilde{\omega}^\ell \leftrightarrow \left\{ {}_o(\bar{\rho}, \bar{\varphi})^\ell, {}_p(\bar{\rho}, \bar{\varphi})^\ell, {}_\omega(\bar{\rho}, \bar{\varphi})^\ell \right\},$$

$${}_p(\bar{\rho}, \bar{\varphi})^\ell \leftrightarrow \left\{ {}_{op}(\bar{\rho}, \bar{\varphi})^\ell, {}_\omega U^\ell, {}_{op}(\bar{\rho}, \bar{\varphi})^\ell \right\},$$

$$\tilde{\sigma}^\ell \leftrightarrow \left\{ \bar{\omega}^{\ell-1}, {}_\sigma U^\ell \right\}, \quad \bar{\omega}^{\ell-1} \leftrightarrow \left\{ \omega_i^{\ell-1} : i \in I \right\},$$

${}_\omega U^\ell = \{X^\ell, {}_\sigma U^\ell, Y^\ell\}$  - узаемадзаянні  ${}_o S^\ell$  з  ${}_\omega S^\ell$ ,

${}_\omega U^\ell = {}_\sigma U^{\ell+1} / S^\ell, {}_\sigma U^\ell$  - узаемадзаянні элементаў  $\bar{S}^{\ell-1}$  у  $\sigma^\ell$ .

Динамічныя выразы сістэм  ${}_o S^\ell, {}_o P^\ell, {}_\omega P^\ell, {}_\omega S^\ell$  наступныя:

$${}_o(\bar{\rho}, \bar{\varphi})^\ell : {}_o\bar{\rho}^\ell = \left\{ {}_o\rho_t : C_t \times X_t \rightarrow Y_t \ \& \ t \in T \right\}^\ell \quad (2)$$

$${}_o\bar{\varphi}^\ell = \left\{ {}_o\varphi_{t'} : C_t \times X_{t'} \rightarrow C_{t'} \ \& \ t, t' \in T \ \& \ t' > t \right\}^\ell$$

$${}_{op}(\bar{\rho}, \bar{\varphi})^\ell : {}_{op}\bar{\rho}^\ell = \left\{ {}_{op}\rho_t : X_t \times C_t \rightarrow Y_t \ \& \ t \in T \right\}^\ell \quad (3)$$

$${}_{op}\bar{\varphi}^\ell = \left\{ {}_{op}\varphi_{t'} : X_t \times C_{t'} \rightarrow X_{t'} \ \& \ t, t' \in T \ \& \ t' > t \right\}^\ell$$

$${}_{\omega p}(\bar{\rho}, \bar{\varphi})^\ell : {}_{\omega p}\bar{\rho}^\ell = \left\{ {}_{\omega p}\rho_t : {}_\omega X_t \times {}_\omega C_t \rightarrow {}_\omega Y_t \ \& \ t \in T \right\}^\ell \quad (4)$$

$${}_{\omega p}\bar{\varphi}^\ell = \left\{ {}_{\omega p}\varphi_{t'} : {}_\omega X_t \times {}_\omega C_{t'} \rightarrow {}_\omega X_{t'} \ \& \ t, t' \in T \ \& \ t' > t \right\}^\ell$$

$${}_\omega(\bar{\rho}, \bar{\varphi})^\ell : {}_\omega\bar{\rho}^\ell = \left\{ {}_\omega\rho_t : {}_\omega C_t \times {}_\omega X_t \rightarrow {}_\omega Y_t \ \& \ t \in T \right\}^\ell \quad (5)$$

$${}_\omega\bar{\varphi}^\ell = \left\{ {}_\omega\varphi_{t'} : {}_\omega C_t \times {}_\omega X_{t'} \rightarrow {}_\omega C_{t'} \ \& \ t, t' \in T \ \& \ t' > t \right\}^\ell$$

дзе  $T^\ell$  - час узроўня  $\ell$ , сувязі сімвалаў  $C^\ell, X^\ell, Y^\ell$  задае табліца:

${}_\omega U^\ell$	$C^\ell$	$X^\ell$	$Y^\ell$
${}_o S^\ell$	$C^\ell$	$X^\ell$	$Y^\ell$
${}_o P^\ell$	$X^\ell$	$C^\ell$	$Y^\ell$
${}_\omega P^\ell$	${}_{\tau\omega} X^\ell \times Y^\ell = {}_\omega X^\ell$	${}_\omega C^\ell$	${}_{\tau\omega} Y^\ell \times X^\ell = {}_\omega Y^\ell$
${}_\omega S^\ell$	${}_\omega C^\ell$	${}_{\tau\omega} X^\ell \times Y^\ell = {}_\omega X^\ell$	${}_{\tau\omega} Y^\ell \times X^\ell = {}_\omega Y^\ell$

${}_{\tau\omega} X^\ell$  і  ${}_{\tau\omega} Y^\ell$  - кампаненты  ${}_\omega X^\ell$  і  ${}_\omega Y^\ell$ , якія не залежаць ад  $S^\ell$  непасрэдна.

Каардынатар  $S_0^\ell$  задаецца аналагічна.

Далей у першай главе прыведзена азначэнне лікавай і геаметрычнай інфармацыі ў  $S^\ell$  і ўводзяцца новыя азначэнні дэфекта звязанасці і канструктыўнай размернасці і спосаб іх пабудовы.

Няхай зададзены аб'ект  $\Xi^\ell$  і атабражэнне  ${}_\xi R: U^\ell \rightarrow \Xi^\ell$ , такія што:

$$\begin{aligned} \Xi^\ell = & \left\{ \xi_\sigma^\ell = (\xi, n)_\sigma^\ell : (\xi, n)_\sigma^\ell \in L \times N \& \xi \in L \& n \in N \& N = \mathbf{N}^+ \cup \{0\} \right\}, \\ & \left[ {}_\xi R(\sigma U^\ell) = (\xi, n)_\sigma^\ell, \xi = \ell - \hat{\ell} \right] \Leftrightarrow \quad (6) \\ \Leftrightarrow & \left[ (\exists {}_\omega \bar{U}^{\hat{\ell}} \subset_\sigma U^\ell) ({}_\omega \bar{U}^{\hat{\ell}} = \{ {}_\omega U_i^{\hat{\ell}} : {}_\omega R({}_\omega U_i^{\hat{\ell}}) = \hat{\ell} \} \& {}_n R({}_\omega \bar{U}^{\hat{\ell}}) = n), \right. \\ & {}_\ell R: {}_\omega U_i^{\hat{\ell}} \rightarrow L, {}_n R: {}_\omega \bar{U}^{\hat{\ell}} \rightarrow N, n - \text{магутнасць } {}_\omega \bar{U}^{\hat{\ell}}, \\ & {}_\omega U_i^{\hat{\ell}} - \text{узаемадзеянні } S_i^{\ell-1} \text{ у } \sigma^\ell; \\ & \mathbf{N}^+ - \text{мноства натуральных лікаў, } L \in L^S. \end{aligned}$$

Тады  $\xi_\sigma^\ell$  называецца дэфектам звязанасці  $\sigma^\ell$  парадку  $\xi$  кратнасці  $n$ , пры гэтым:

$$(\forall \ell \in L) \Rightarrow (\xi_\sigma \in I_\xi, I_\xi = \{0, 1, 2, 3\}). \quad (7)$$

Месцазнаходжанні ў  $\sigma^\ell$  парушэнняў звязанасці вызначаюцца параметрам  $\xi_{\sigma, \gamma}^\ell$ :

$$\begin{aligned} \xi_{\sigma, \gamma}^\ell = & (i, \tau)_\xi \dots (i, \tau)_0: \quad (8) \\ (\forall \xi^\ell \geq 0) \Rightarrow & \left[ (i, \tau)_\xi = \left\{ (i, \tau) : (i, \tau) \in I^\ell \times I^\ell \& \tau \neq i \& {}_\xi R(U_{i, \tau}^\ell) = \ell - \hat{\ell} = \xi^\ell \right\} \right]. \end{aligned}$$

Для кожнай сістэмы  $S^\ell$  узроўня  $\ell \in L$  дэфектам звязанасці  $\xi_\omega^\ell$  у  ${}_\omega S^\ell$  называецца звужэнне дэфекта звязанасці  $\xi_{\sigma, \gamma}^{\ell+1}$  сістэмы  $S^{\ell+1}$  на  ${}_\omega U^\ell$ .

У кодзе лікавай пазіцыйнай сістэмы  $L^S$  дэфект звязанасці задаецца ў выглядзе:

$$\tilde{\xi}^\ell = (n_3 \dots n_0)_\xi, \quad \tilde{\xi}^\ell \in \{\xi_\sigma^\ell, \xi_\omega^\ell\}. \quad (9)$$

Азначэнне канструктыўнай размернасці і спосаб яе разліку атрымліваецца з азначэння і спосаба разліку дэфекта звязанасці  $\tilde{\xi}^\ell$ .

Канструктыўнай размернасцю  $\delta^\ell \in \Delta^\ell$  сістэмы  $S^\ell$  называецца яе лікавая характарыстыка, якая запісваецца ў кодзе  $L^S$ :

$$\tilde{\delta}^\ell = (n_3 \dots n_0)_\delta, \quad \tilde{\delta}^\ell \in \{\delta_\sigma^\ell, \delta_\omega^\ell\}, \quad (n_i)_\delta = (n_{3-i})_\xi \quad (10)$$

дзе  $(n_i)_\delta \in N$ ,  $i=0,1,2,3$ ;  $\delta_\omega^\ell$  і  $\delta_\sigma^\ell$  - канструктыўныя размернасці  $\sigma^\ell$  і  $\omega^\ell$  адпаведна.

Згаданае азначэнне канструктыўнай размернасці і звязанасці ўзгоднена з усімі выразамі геаметрычных аб'ектаў, прыведзенымі ў аналітычным аглядзе і такім чынам дазваляе не толькі карыстацца выключна ім у задачах геаметрычнага канструявання (што найболей эфектыўна), але і ўжываць яго ў якасці стандартнага коду, годнага аб'ядноўваць іншыя вядомыя прадстаўленні.

Глава 2 ўтрымлівае агульнае азначэнне геаметрычнага аб'екта ў выглядзе іерархічнай многаўзроўневай сістэмы, выразы геаметрычных аб'ектаў розных размернасцяў і дзеянні з імі.

Геаметрычную інфармацыю (мноства зменных  $\bar{V}$ ) можна разбіць на тры класы

$$\bar{V} = \{V_1, V_2, V_3\} = \{M, \Gamma, \Sigma\}, \quad (11)$$

дзе  $M = \{\mu_i : i \in I_M\} = V_1$  - метрычныя характарыстыкі (стан геаметрычнага аб'екта ў яго агрэгаваным выразе  $\omega^\ell$ );

$\Gamma = \{\gamma_i : i \in I_\Gamma\} = V_2$  - апісанне мяжы аб'екта (узаемадзеянні  ${}_oU^\ell$  геаметрычнага аб'екта з іншымі геаметрычнымі аб'ектамі);

$\Sigma = \{\sigma_i : i \in I_\Sigma\} = V_3$  - апісанне структуры аб'екта.

Любы геаметрычны аб'ект  $S$  тады можа быць прадстаўлены у выглядзе адносін  $S \subset M \times \Gamma \times \Sigma$  на дэкартавым здабытку зменных  $M, \Gamma, \Sigma$ .

Кожны клас зменных  $V_i \in V$  мае адпаведную структуру  ${}_i\psi$ , т.ч. існуе мноства  $\bar{\psi}_1 = \{{}_M\psi, {}_\Gamma\psi, {}_\Sigma\psi\}$ , дзе  ${}_M\psi$  - структура  $M$ ,  ${}_\Gamma\psi$  - структура  $\Gamma$ ,  ${}_\Sigma\psi$  - структура  $\Sigma$ . Акрамя гэтага, існуе мноства адносін склейкі  $\bar{\psi}_2$  паміж зменнымі  $M, \Gamma, \Sigma$ , якое азначае структуру ўсяго  $\bar{V}$ . Адносіны з  $\bar{\psi}_2$  задаюцца на дэкартавым здабытку  $\bar{\psi}_1 \times \bar{\psi}_1$ . Усё мноства адносін на  $\bar{V}$  будзем абазначаць  $\bar{\psi}$ :  $\bar{\psi} = \{\bar{\psi}_1, \bar{\psi}_2\}$ .

Элементы  $\sigma_i \in \Sigma$  прадстаўляюць сабой класы структур, інварыянтныя адносна падмноства метрычных характарыстык, элементы мноства  $\Gamma$  - адпаведныя гэтым  $\sigma_i$  класы межаў.

Адно з адносін класа  $\bar{\psi}_2$  заключаецца ў тым, што  $\Gamma \subset \Sigma$ , т.ч. мяжа  $\Gamma$  любога геаметрычнага аб'екта  $S$  заўсёды ўваходзіць у яго структуру  $\Sigma$ .

Апісанне мяжы выдзелена ў асобную групу зменных, паколькі для шырокага класа задач дастаткова аказваецца апісання мяжы аб'екта.

Да асноўных геаметрычных структур адносяцца: кропкі (абазначэнні аб'екта  $S^0$ , абазначэнні структуры  $\sigma^0$ ); участкі ліній ( $S^1$ ,  $\sigma^1$  адпаведна); кавалкі паверхняў ( $S^2$ ,  $\sigma^2$ ); аб'ёмныя аб'екты ( $S^3$ ,  $\sigma^3$ ).

Азначэнне ўмоўнай кропкі. Аб'ёмная (3-мерная) ўмоўная кропка  $S^0$  задаецца наборам  $\{M, \Gamma, \Sigma\}$ ,  $\bar{\psi}$  і ўмовай  $(\chi, \varepsilon)$ , дзе ўмова:

$$\chi = \{1, 2\}$$

$$\varepsilon \in \mathbb{R} \ \& \ \varepsilon > 0, \ \mathbb{R} - \text{мноства рацыянальных лікаў};$$

структура:  $\Sigma = \sigma^0$ ; прычым

$$\sigma^0 = \begin{cases} \text{шар пры } \chi = 1; \\ \text{куб пры } \chi = 2; \end{cases}$$

мяжа:  $\Gamma = \gamma^0$

$$\gamma^0 = \begin{cases} \text{мяжа шара пры } \chi = 1; \\ \text{мяжа куба пры } \chi = 2; \end{cases}$$

метрычныя характарыстыкі:  $M = \{\mu_1^0, \mu_2^0, \mu_3^0, \mu_4^0, \mu_5^0\}$ ,

$$\mu_1^0 = \begin{cases} \text{каардынаты цэнтра шара пры } \chi = 1; \\ \text{каардынаты цэнтра куба пры } \chi = 2; \end{cases}$$

$\mu_5^0$  - значэнні вуглоў у адпаведных каардынатных сістэмах;

$\mu_2^0, \mu_3^0, \mu_4^0$  - адпаведна лінейныя, плошчавыя і аб'ёмныя характарыстыкі пры  $\chi=1$  - шара, пры  $\chi=2$  - куба.

Пры гэтым  $\mu_2^0, \mu_3^0, \mu_4^0$  залежаць ад  $\varepsilon$ , т.ч.  $\mu_2^0 = \mu_2^0(\varepsilon)$ ,  $\mu_3^0 = \mu_3^0(\varepsilon)$ ,  $\mu_4^0 = \mu_4^0(\varepsilon)$ ;

пры  $\chi=1$  дыяметр шара  $\mu_2^0 \leq \varepsilon$  ( $\mu_2^0 \in \mu_2^0$ ),

пры  $\chi=2$  даўжыня рабра куба  $\mu_2^0 \leq \varepsilon$ .

Т.ч. 3-мерная ўмоўная кропка прадстаўляе сабой шар або куб, метрычныя характарыстыкі  $\mu_2^0, \mu_3^0, \mu_4^0$  якога азначаюцца ўмовай  $\varepsilon$ .

Праведзенае даследаванне ўласцівасцей і асаблівасцей умоўных кропак дазволіла адзначыць, што клас дзеянняў з умоўнымі кропкамі багацей за адпаведны клас з ідэальнымі кропкамі - дазваляюцца ўсе тыя ж дзеянні, што і з ідэальнымі (у гэтых дзеяннях у якасці аперандаў удзельнічаюць цэнтры ўмоўных кропак); акрамя гэтага дадаюцца два новых дзеяння: маштабаванне і змена (зніжэнне ці павышэнне) ўзроўня. Аб'яднанне канечнай колькасці ўмоўных кропак дае сістэму больш высокага ўзроўня, чаго нельга здзяйсняць з ідэальнымі кропкамі.

Дзякуючы гэтаму з'явілася магчымасць увесці простыя азначэнні ўмоўных ліній і паверхняў, якія валодаюць усімі ўласцівасцямі ідэальных ліній і паверхняў і яшчэ некаторымі дадатковымі, якія спрашчаюць іх пабудову і змену.

Азначэнне кавалка ўмоўнай лініі. Кавалак (бесперапыннай) умоўнай лініі з'яўляецца двухузроўневай сістэмай  $S^1$ , якая складаецца з канечнай

колькасці ўмоўных кропак  $\{S_1^0, \dots, S_n^0\} = \bar{S}^0$ , яны ўпарадкаваны строгім лінейным парадкам (кожная кропка  $S_i^0$ ,  $i=1, \dots, n$  мае адну папярэднюю і адну наступную кропкі), прычым адлегласць ад цэнтраў любых двух суседніх кропак не перасягае некаторы лік  $\varepsilon$  ( $\varepsilon \in \mathbb{R}$  &  $\varepsilon > 0$ ).

У базісе  $\{M, \Gamma, \Sigma\}$ ,  $\bar{\psi}$  кавалак умоўнай лініі прадстаўляецца ў выглядзе аб'екта  $S^1$ , для якога:

$\Sigma = \sigma^1$  - структура двухузроўневай сістэмы, азначанай вышэй (якая складаецца з канечнай колькасці ўмоўных кропак  $\bar{S}^0$ ) і крытэрыі адбору кропак - ураўненне (дачыненне склейкі  $_{S^1}\psi$  на каардынатах кропак).

$\Gamma = \gamma^1 = \{S_1^0, S_n^0\}$  - дзве ўмоўныя кропкі. Акрамя гэтага,  $\gamma^1$  утрымлівае мяжу болей нізкага ўзроўня - межавыя кропкі ўсіх  $\bar{S}^0$ .

$M = \{\mu_2^1, \mu_3^1, \mu_4^1\}$  дзе  $\mu_2^1, \mu_3^1, \mu_4^1$  звязаны з  $\mu_{2i}^0, \mu_{3i}^0, \mu_{4i}^0$ ,  $i=1, \dots, n$  эшалона ўмоўных кропак  $\bar{S}^0$ , якія складаюць  $S^1$ , міжузроўневымі адносінамі.

Каардынатар  $S_0^1$  сістэмы  $S^1$  можа выконваць усе дзеянні з умоўнымі кропкамі  $\bar{S}^0$ , якія дазваляюць узгадняць іх узаемадзеянні такім чынам, каб задавальнялася патрабаванне да ўсёй сістэмы  $S^1$  (задавальнялася ўраўненне для  $S^1$ ). Г.зн.  $S_0^1$  можа вызначыць усе элементы  $S^1$ , зыходзячы з патрабаванняў да ўсёй сістэмы  $S^1$ , прычым, калі зададзена мяжа  $\{S_1^0, S_n^0\}$  і ўмова  $\varepsilon$ , колькасць  $n$  элементаў  $S_i^0$  устанаўліваецца адназначна.

Кавалак паверхні і 3-мерны аб'ект азначаны аналагічна. Даследаваны тапалагічныя ўласцівасці умоўных аб'ектаў.

Выдзелены класы дзеянняў з геаметрычнымі аб'ектамі (дзеянні, якія не змяняюць структуры ( $R_1$ ), дзеянні абмежаванага змянення структуры ( $R_2$ ) і дзеянні змены ўзроўня ( $R_3$ )).

Дадзены падыход дазваляе прапанаваць новы адзіны геаметрычны выраз і змяняць размернасць геаметрычных аб'ектаў у межах гэтага выраза.

У главе 3 разгледжана сістэма дзеянняў над метрычнымі характарыстыкамі геаметрычнага аб'екта, арыентаваная на праграмна-тэхнічную рэалізацыю ў САПР. Яна дазваляе разглядаць мадэляванне ўзгодненай дынамікі структур розных узроўняў і рэалізуе азначаныя вышэй класы дзеянняў з геаметрычнымі аб'ектамі.

Уведзены два механізмы развіцця сістэмы: развіццё ва ўмовах раўнавагі (не змяняе ўзровень) і развіццё ва ўмовах росту (адбываецца змена ўзроўня (размернасці) сістэмы).

Для кожнага разгледжаны адпаведныя ім дзеянні складання (злучэння)  $\oplus$  і множання (дзялення)  $\otimes$  у  $M^e$  для мностваў аб'ектаў:

$$\Psi^\tau = \left\{ \begin{array}{l} -\tilde{\tau} = (-\tau, {}^0\tau, 0), {}^0\tilde{\tau} = (0, {}^0\tau, 0), {}^+\tilde{\tau} = (0, {}^0\tau, +\tau) \end{array} \right\}, \quad (12)$$

$$\Psi^\tau = \left\{ -\tilde{\tau}, {}^-\tilde{\tau}, {}^{00}\tilde{\tau}, {}^{+0}\tilde{\tau}, {}^+\tilde{\tau} \right\}. \quad (13)$$

Даследаванне дзеянняў  $\oplus$  і  $\otimes$  сродкамі алгебры дазволіла выявіць іх матэматычныя ўласцівасці (неасацыятыўнасць, камутатыўнасць, наяўнасць ідэмпатэнтаў, сувязь з палямі сапраўдных і камплексных лікаў, а таксама з кватэрніонамі) і сфарміраваць аналагі арыфметычных дзеянняў з геаметрычнымі аб'ектамі, арыентаваныя на адпаведную праграмную рэалізацыю.

Паказана сувязь атрыманых вынікаў з тэарэтыка-множнымі аперацыямі, палямі рацыянальных, камплексных і гіперкамплексных лікаў. Прыведзены ўзоры паводзін сістэм ва ўмовах росту і зніжэння ўзроўня.

Праведзенае даследаванне дазваліла зрабіць выснову, што дзеянні злучэння ва ўмовах росту прымяняюцца для сінтэза структур, а для імітацыі рухаў і дэфармацый - дзеянні злучэння ва ўмовах раўнавагі. Дзеянні множання, у адрозненне ад складання, дазваляюць здзяйсняць змену ўзроўня (размернасці) за адзін крок. Але іх асноўнае назначэнне - кіраваць зменай стратэгіі каардынацыі.

Глава 4 прысвечана азначэнню фізічных характарыстык, рухаў і дэфармацый геаметрычнага аб'екта сродкамі іерархічных многаўзроўневых сістэм.

Рухам сістэмы  ${}_o S^\ell$  у навакольным свеце  ${}_o S^\ell$  будзем лічыць змяненне яе ўзаемадзеянняў  ${}_o U^\ell$  з элементамі  $S_i^\ell$  ( $i \in I^{\ell+1}$ ) сістэмы  ${}_o S^\ell$ , а дэфармацыяй - змяненне ўзаемадзеянняў  ${}_o U^\ell$  элементаў  $S_i^{\ell-1}$  ( $i \in I^\ell$ ) яе структуры  $\sigma^\ell$ .

Далучэнне да сувязей  ${}_o U^\ell$  дадатных і адмоўных па  $\mu^\ell$  элементаў з захаваннем прыналежнасці  $\sigma^\ell$  да некаторага класа структур дае эфект дэфармацыі  $\sigma^\ell$ . Змена  ${}_o U^\ell$  выклікае змену  ${}_o U^\ell$ , што эквівалентна руху  ${}_o S^\ell$  у  ${}_o S^\ell$ . Адпаведным чынам арганізаваныя дэфармацыі (напрыклад, бягучыя хвалі дэфармацыі) адпавядаюць класам спосабаў кіравання рухам.

Мера масы - метрычная характарыстыка  $\tilde{\mu}^\ell \in M^\ell$  стану  $c \in C^\ell$  сістэмы  ${}_o S^\ell$ , яе ўваходаў  $X^\ell$  і выходаў  $Y^\ell$ :

$$\tilde{\mu}^\ell = \left( -\tilde{\mu}^\ell, {}^0\tilde{\mu}^\ell, {}^+\tilde{\mu}^\ell \right), \quad (14)$$

дзе  $-\tilde{\mu}^\ell$  - адмоўная,  ${}^0\tilde{\mu}^\ell$  - нейтральная,  ${}^+\tilde{\mu}^\ell$  - дадатная кампаненты  $\tilde{\mu}^\ell$ .

Нейтральная кампанента  ${}^0\tilde{\mu}^\ell = (-\tilde{\mu}^{\ell-1}, {}^0\tilde{\mu}^{\ell-1}, +\tilde{\mu}^{\ell-1}) = \tilde{\mu}^{\ell-1}$  з'яўляецца мерай аб'ёмаў, плошчаў і адлегласцей - у залежнасці ад таго, які стан  ${}_\tau C^\ell$  ці  ${}_{\tau\omega}U^\ell$ ,  $\tau \in {}_\psi L$  (які дэфект звязанасці  $\xi_{\omega,\sigma}^\ell$  і якая канструктыўная размернасць  $\delta_{\omega,\sigma}^\ell$ ) разглядаюцца. Заўважым, што да  ${}_\omega U^\ell$  (і, тым самым, да  ${}_o S^\ell$ ) належыць тая прастора з мерай  $\tilde{\mu}^{\ell-1} = {}^0\tilde{\mu}^\ell$ , якую  ${}_o S^\ell$  здольны змяняць і ўплыў на якую з боку  ${}_o S^\ell$  зваротна прапарцыянальны адлегласці ад  ${}_o S^\ell$ .

Меры руху (хуткасць, імпульс і т.д.) атрымліваюцца як меры змянення станаў дынамічных сістэм за адзінкі часу  ${}_\tau \eta_T^\ell$  у прасторах  $M^\ell$ ,  $\Xi^\ell$ ,  $\Delta^\ell$ , ( ${}_\tau \eta_T^\ell \in {}_\psi T^\ell = \{?T^\ell, {}_\gamma T^\ell, {}_\beta T^\ell, {}_\alpha T^\ell\}$ ). Меры руху маюць кірунак - у адпаведнасці з адрасамі тых элементаў  ${}_\omega S^\ell$ , адносна якіх разглядаецца рух.

Агульны закон руху і дэфармацыі задаецца ў выглядзе:

$$S^\ell = \{\omega^\ell, S_0^\ell, \sigma^\ell\} \quad (15)$$

$$\text{дзе } \omega^\ell = \{\tilde{\omega}^\ell, S_0^\ell\}, \quad \sigma^\ell = \{S_0^\ell, \tilde{\sigma}^\ell\},$$

$$\tilde{\omega}^\ell = \{{}_o(\bar{\rho}, \bar{\varphi})^\ell, {}_p(\bar{\rho}, \bar{\varphi})^\ell, {}_\omega(\bar{\rho}, \bar{\varphi})^\ell\},$$

$${}_p(\bar{\rho}, \bar{\varphi})^\ell = \{{}_{op}(\bar{\rho}, \bar{\varphi})^\ell, {}_\omega U^\ell, {}_{\omega p}(\bar{\rho}, \bar{\varphi})^\ell\},$$

$$\tilde{\sigma}^\ell = \{\bar{\omega}^{\ell-1}, {}_\sigma U^\ell\}, \quad \bar{\omega}^{\ell-1} = \{\omega_i^{\ell-1} : i \in I^\ell\},$$

$$S_0^\ell = \{\omega_0^\ell, S_0^\ell, \sigma_0^\ell\}.$$

Геаметрычныя і фізічныя адзнакі вызначаюцца ў прасторах станаў  $M^\ell$ ,  $\Xi^\ell$ ,  $\Delta^\ell$ ,  $T^\ell$ , усе разлікі ў якіх выконваюцца сродкамі лікавай пазіцыйнай сістэмы  $L^S$ . Спосабы разліку рухаў і дэфармацый залежаць ад адзнак  $\tilde{\mu}^\ell$ ,  $\tilde{\xi}^\ell$ ,  $\tilde{\delta}^\ell$  структуры  $\sigma^\ell$  і аграгаванай дынамічнай рэалізацыі  $\omega^\ell$  і адпавядаюць стратэгіям каардынацыі  ${}_\tau \lambda_o^\ell \in \Lambda_o^\ell = \{? \lambda_o^\ell, {}_\gamma \lambda_o^\ell, {}_\beta \lambda_o^\ell, {}_\alpha \lambda_o^\ell\}$  у розных умовах акрэсленасці ведаў.

Рад асобных відаў руху і дэфармацыі атрымліваецца з агульнага закона шляхам увядзення адпаведных умоў. Так, фізічны рух (змена каардынат у прасторы) у інтэрвал часу  $\bar{T}_{tt'}^\ell$  адказвае выпадку

$${}_\sigma U^\ell \Big|_{\bar{T}_{tt'}^\ell} = \text{const}, \quad (16)$$

калі ўзаемадзеянні  ${}_\sigma U^\ell$  лічацца некаторы час нязменнымі і, такім чынам, структура  $\sigma^\ell$  захоўвае свой стан. Гэты рух выконваецца працэсам  ${}_\omega P^\ell$ , для якога

$$\begin{aligned} {}_{op}(\bar{\rho}, \bar{\varphi})^\ell : {}_{op}\bar{\rho}^\ell &= \left\{ {}_{op}\rho_t^\ell : {}_\omega X_t^\ell \times {}_\omega C_t^\ell \rightarrow {}_\omega Y_t^\ell \ \& \ t \in T^\ell \right\} \\ {}_{op}\bar{\varphi}^\ell &= \left\{ {}_{op}\varphi_{t'}^\ell : {}_\omega X_t^\ell \times {}_\omega C_{t'}^\ell \rightarrow {}_\omega X_{t'}^\ell \ \& \ t, t' \in T^\ell \ \& \ t' > t \right\} \end{aligned} \quad (17)$$

$${}_\omega X^\ell = {}_{\tau\omega} X^\ell \times Y^\ell, \quad {}_\omega Y^\ell = {}_{\tau\omega} Y^\ell \times X^\ell.$$

На другім канцы знаходзіцца біямеханічны рух, для якога лічыцца

$$\left( {}_{\tau\omega} X^\ell \times {}_{\tau\omega} Y^\ell \right) \Big|_{\bar{T}_{tt'}^\ell} = {}_{\tau\omega} U^\ell \Big|_{\bar{T}_{tt'}^\ell} = \text{const}, \quad (18)$$

інакш,  ${}_\omega U^\ell$  залежыць у інтэрвал часу  $\bar{T}_{tt'}^\ell$  толькі ад змянення  ${}_\sigma U^\ell \Big|_{\bar{T}_{tt'}^\ell}$ . Рух гэтага класа выконваецца працэсам  ${}_o P^\ell$ :

$$\begin{aligned} {}_{op}(\bar{\rho}, \bar{\varphi})^\ell : {}_{op}\bar{\rho}^\ell &= \left\{ {}_{op}\rho_t^\ell : X_t^\ell \times C_t^\ell \rightarrow Y_t^\ell \ \& \ t \in T^\ell \right\} \\ {}_{op}\bar{\varphi}^\ell &= \left\{ {}_{op}\varphi_{t'}^\ell : X_t^\ell \times C_{t'}^\ell \rightarrow X_{t'}^\ell \ \& \ t, t' \in T^\ell \ \& \ t' > t \right\}. \end{aligned} \quad (19)$$

Астатнія класы рухаў і дэфармацый знаходзяцца паміж названымі і з'яўляюцца іх рознымі спалучэннямі ў выразе  $S^\ell$ .

Агульны закон каардынацыі можна таксама запісаць у выглядзе

$$C^{\ell+1} \Big|_{S_i, S_\tau} = B_i \cdot C_i^\ell + B_\tau \cdot C_\tau^\ell + \psi^{\ell+1} B_U \cdot U_{i,\tau} \quad (20)$$

дзе  $C^{\ell+1}, C_i^\ell, C_\tau^\ell \in M \times \Gamma \times \Sigma$ ,  $B$  - вагавыя характарыстыкі, сістэмная канстанта  $\psi$  выбіраецца ў адпаведнасці з класам дынамікі структур, якія імітуюцца.

Тым самым задача кіравання рухамі і дэфармацыямі зведзеная да задачы каардынацыі стандартнага блока іерархічнай многаўзроўневай сістэмы -  $S^\ell$ , а атрыманыя вынікі маюць больш агульны характар, чым



сувязь геаметрычных і фізічных параметраў і могуць прымяняцца для абстрактных іерархічных многаўзроўневых сістэм.

Выкананыя даследаванні даюць магчымасць лічыць, што прапануемы метады можа быць выкарыстаны як для імітацыі рухаў аб'екта канструявання, так і для аналізу яго паводзін пры дэфармацыі.

У главе 5 прыведзены ўзоры прымянення іерархічнай сістэмы выказаў геаметрычнага аб'екта ў задачах даследавання рухаў і дэфармацыі і распрацаваныя алгарытмы, адпаведныя асобным класам рухаў і дэфармацыі.

Таксама ўключаны прыклад азначэння росту размернасці будовы сістэмы - узор выканання дзеяння змены маштабу з распрацаванай для яго канструктыўнай схемай базы звестак і адпаведныя яму выразы ўмоўных аб'ектаў: кропак, ліній, паверхняў.

Прыведзены вынікі тэсціравання распрацаваных алгарытмаў, іх параўнальныя ацэнкі ў залежнасці ад колькасці элементаў разбіцця. Выкладзены асноўны алгарытм дынамікі структур геаметрычных аб'ектаў.

Разгледжана задача мадэлявання многазменных кінематычных механізмаў. Апісана структура ПК, які уваходзіць у склад падсістэмы САПР тэхналагічнай падрыхтоўкі вытворчасці і ўкаранёны ў ВА "Экран", г. Барысаў.

Распрацаваныя ў рабоце выразы, спосабы, метады, алгарытмы і адпаведныя ім схемы базы звестак выкарыстаны пры распрацоўцы прыкладных сістэм на шэрагу прадпрыемстваў Беларусі і ў навучальным працэсе БУК, Вучэбнага цэнтры пры БДПА «Кадры індустрыі».

У дадатку прыведзены акты аб укараненні вынікаў дысертацыйнай работы.

## ЗАКЛЮЧЭННЕ

1. Распрацавана тэарэтычная аснова механізмаў разліку рухаў і дэфармацыі аб'ектаў канструявання - іерархічная многаўзроўневая сістэма геаметрычных выказаў аб'ёмных цел [1,8,9,15,21,31,33,35], якая ў адрозненне ад раней вядомых, мае шэраг новых адзнак:

- наяўнасць структур у геаметрычных аб'ектаў любой размернасці (у тым ліку ў кропак);
- бесперапыннае злучэнне дыскрэтных сістэм сваімі элементамі больш нізкіх узроўняў;
- магчымасць росту (агрэгавання) і зніжэння ўзроўня геаметрычных характарыстык (змянення тапалагічных характарыстык аб'ектаў са зменай іх маштабаў);
- міжузроўневая сувязі геаметрычных параметраў з фізічнымі (дынамічнымі) характарыстыкамі сістэм.

2. Прапанавана азначэнне канструктыўнай размернасці і звязанасці і спосабы іх разлікаў. Упершыню ўведзены паняцці ўмоўных кропак, ліній, кавалкаў паверхняў. У выніку даследавання ўласцівасцей умоўных кропак адзначана, што клас дзеянняў з імі багацей за адпаведны клас з ідэальнымі аб'ектамі - дадаюцца два новыя дзеянні: маштабаванне і змена (зніжэнне ці павышэнне) ўзроўня. [1,5,8,27,30-32,35].

3. Распрацавана сістэма дзеянняў, якая дазваляе кіраваць зменамі геаметрычных выразаў. Уведзены два механізмы дынамікі сістэмы: развіццё ва ўмовах раўнавагі (не змяняе ўзровень) і развіццё ва ўмовах росту (адбываецца змена ўзроўня (размернасці) сістэмы). Для кожнага механізма разгледжаны адпаведныя яму дзеянні складання і множання; выяўлены іх матэматычныя ўласцівасці. У выніку даследавання адзначана, што дзеянні злучэння ва ўмовах росту прымяняюцца для сінтэза структур, а для імітацыі рухаў і дэфармацый - дзеянні злучэння ва ўмовах раўнавагі. [13-19,25].

4. Прапанаваны і даследаваны новыя тэарэтычныя сродкі імітацыі звязаных рухаў і дэфармацый:

- прапанавана азначэнне фізічных характарыстык у тэрмінах іерархічных многаўзроўневых сістэм, сувязь геаметрычных і фізічных параметраў;

- азначэнне рухаў і дэфармацый уведзена ў тэрмінах іерархічных многаўзроўневых сістэм як узгодненае змяненне структур розных узроўняў. Гэта дазволіла стратыфікаваць рухі і дэфармацыі па іх прыродзе і па ўзроўнях азначанасці ведаў аб іх. Тым самым задача кіравання рухамі і дэфармацыямі зведзеная да задачы каардынацыі ў іерархічных многаўзроўневых сістэмах. [3-6,14,19,21,23,34,36].

5. На базе прапанаванага геаметрычнага выраза распрацавана кібернетычная тэхналогія ўтварэння сістэм рознай размернасці і разліку іх рухаў. Адметная рыса гэтай тэхналогіі - магчымасць прымянення ў такіх практычных задачах, дзе змена будовы (дэфармацыя) вядзе да змены палажэння ў навакольным свеце (напрыклад, бягучыя хвалі дэфармацыі з пераносам масы). Гэты эффект мае ключавое значэнне ў задачах канструявання і разліку рухаў біямеханічных робатаў [10-12,16-18, 22, 24, 26, 27, 32].

## СПІС ПРАЦ, АПУБЛІКАВАННЫХ ПА ТЭМЕ ДЫСЕРТАЦЫІ

1. Aed Theory in Hierarchical Knowledge Networks/ S.Novikava, K.Miatluk, S.Gancharova, e. a. //Studies in Informatics and Control. - 1997. - Vol.6, <sup>1</sup>1. - P.75-85.
2. Лебедева С.А. Анализ способов представления геометрических данных в САПР //Математические вопросы автоматизации проектирования и испытаний.- Минск: ИТК АН БССР, 1986. - С. 46-53.

3. Гончарова С.А. Моделирование межуровневых переходов на примере физических систем // Эргономическое и организационное обеспечение качества создаваемых и эксплуатируемых систем: Сб. ст. / ИТК АН БССР. - Минск, 1989. -С. 96-100.
4. Гончарова С.А. Рух і дэфармацыя у аэдзе // Теория и методы автоматизации проектирования сложных систем и автоматизации научных исследований: Сб.ст. - Минск, 1990. - С .55-60.
5. Моделирование физико-химических свойств проектируемого объекта / Г.Г.Маньшин, Г.В.Ананич, С.А.Гончарова, В.Л.Супоницкий // Математическое и программное обеспечение интегрированных САПР электронных и электромеханических устройств: Сб.ст. - Тверь,1990. - С.58-65.
6. Гончарова С.А. Моделирование движений и деформаций объёмных тел в неоднородных средах/ Российск. Акад. наук. Ин-т пробл. автомат. и телемех. - М., 1989. -7с.: ил. - Деп. в ВИНТИ 14.02.89, №927-В89 // РЖ: 16В. Механика. - 1989. - №6. - 6В1ДЕП. - С.1.
7. Геометрические модели в современных зарубежных системах проектирования и обработки видеоинформации / С.И.Новикова, О.В.Гоян, С.А.Гончарова, К.Н.Метлюк. - Минск, 1989. - 20 с.- (Препринт/Ин-т техн. кибернетики АН БССР; № 36).
8. Новікава С.І., Гончарова С.А. Некалькі задач тэорыі іерархічных многаузроуневых сістэм. - Мінск, 1990. - 30с.- (Прэпрынт/ Ін-т тэхн. кібернетыкі АН БССР; №21).
9. Гончарова С.А., Новикова С.И. Представление геометрической информации для задач динамики объемных тел в неоднородных средах // Методы и средства обработки сложной графической информации: Тез. докл.всесоюз. конф., сент.1988г.: В 2ч./ГГУ.-Горький,1988.-Ч.1. -С.78.
10. Гончарова С.А. Способ обработки изображений проектируемого объекта в задачах инженерного анализа // Эргономическое обеспечение проектирования и эксплуатации изделий машиностроения: Тез. докл. науч.-методич. конф. / БелНИИТИ. - Минск, 1988. - С.27-28.
11. Гончарова С.А. Применение формальной модели иерархической многоуровневой системы для моделирования деформации геометрических объектов // Системы автоматизированного проектирования в кузнечно-штамповочном производстве: Тез. докл. Всесоюзн. НТК, Свердловск, 11-13 октября 1988г. / ЦНИИ технологии машиностроения. - Москва, 1988.- С. 162-164.
12. Новикова С.И., Гончарова С.А. Способ распараллеливания решения задач управления деформациями и движениями физической и биомеханической природы // Распараллеливание обработки информации: Тез.7 всесоюз. школы-семинара / АН УССР. - Львов, 1989. - Ч.III. - С.28-29.

13. Моделирование активных систем/ Г.Г.Маньшин, С.И.Новикова, Г.В.Ананич, С.А.Гончарова, В.В.Храбров//Организация и управление: Тез.докл.науч.-теор.конф./ БелНИИТИ. -Минск, 1989. -Ч.6.- С.126-128.
14. Новикова С.И., Гончарова С.А. Межуровневые связи динамических систем // Фундаментальные и прикладные проблемы космонавтики (в рамках 5 Королёвских чтений): Материалы II республ.НТК / Киев, 1990. - С.24-25.
15. The Structure and the Dynamics of Information in Design Systems / S.I.Novikava, G.V.Ananich, K.N.Miatliuk, I.V.Galavenchik, S.A.Gancharova e.a. // Engineering Design: Proceedings of the 7th ICED Conference. - Dubrovnik, 1990.- Vol. 2. - P. 946-953.
16. The Theoretical Model and the Application of Aed-processor/S.Novikava, K.Miatliuk, G.Ananich, L.Mazanik, S.Gancharova e. a.//Neural Networks and Neural Computing: Proceedings of The International NEURONET Symposium / Prague, Czech Rep., 1990. - P.259-261.
17. Теоретическая конструкция аэд-процессора и его действующие аппаратно-программные макеты / С.И.Новикова, К.Н.Метлюк, С.А. Гончарова и др. // Физические основы построения устройств обработки информации на молекулярном уровне: Материалы II всесоюз. совещ. / ВНИЦПВ НПО «Элтест», МНИИПУ. - Москва, 1990. - С. 15.
18. Согласование структурной динамики систем разных уровней в аэд-процессоре / К.Н.Метлюк, С.И.Новикова, С.А.Гончарова и др. // Биомолекулярный компьютеринг: Тез. всесоюз. школы-семинара / МНИИПУ. - М., 1991. - С.67.
19. Aed Technology for Ecological, Social and Engineering Systems Coordination / S.I.Novikava, K.N.Miatliuk, S.A.Gancharova e.a. // Modular Information Computer Systems and Networks: Proceedings of 8th International ICS-NET Symposium / USSR Academy of Sciences. - Dubna, 1991 - P. 145-152.
20. Ecological, Social and Engineering Levels Interactions in Hierarchical Multilevel Systems / S.Novikava, V.Rebeko, V.Kaliada, S.Gancharova e.a.// General And Applied Chemistry: Proceedings of XV Mendeleev EPGACH Congress. - Мн.:Навука і тэхніка, 1993. -Т. 2.- С.401 - 402.
21. Aed Construction and Technology in Design / S.Novikava, K.Mialtiuk, S.Gancharova, W.Kaliada // Large Scale Systems: Proceedings of 7th IFAC/IFORS/IMACS LSS Symposium, London / IFAC. - London: Pergamon Press, 1995. - P.379-384.
22. Канструяванне каляровых дынамічных выяў фізічных, хімічных і біялагічных сістэм /В.Каляда, К.Мятлюк, С.Ганчарова, С.Новікава // Актуальныя праблемы беларускамоўнага выкладання тэхнічных і прыродазнаўчых дысцыплін у ВНУ: Матэрыялы навук.-метаад. канф./ РТІ. - Мінск, 1993. - С.53.

23. Hierarchical Multilevel Systems in Aed Realization /S.Novikava, S.Staravoitaw, V.Kaliada, S.Gancharova e.a.// Mathematical and Computer Modelling: Proceedings 9th ICMCM'93 Conference / Berkeley, California, USA, 1993. - P. 71.
24. Gancharova S., Ioska S. Dynamical Graphic Images of Natural and Technical Systems for Education // Информационные средства и технологии: Материалы 19 междунар. конф. / МЭИ. - Москва, 1993. - С. 224 - 225.
25. Symbol Constructing Dynamics in Aed Technology / S.Novikava, K.Miatliuk, W.Kaliada, S.Gancharova e.a.// Автоматический контроль и управление производственными процессами: Тезисы респ.НТК/БГТУ.-Мн.,1995.- С.24.
26. Ганчарова С., Новікава С. Азначэнне задач канструктара-тэхнолага ў тэорыі іерархічных многаўзроўневых сістэм// Автоматический контроль и управление производственными процессами: Тезисы респ. НТК / БГТУ. - Минск, 1995. - С.25.
27. Aed Theory and its Realizations by Hierarchical Knowledge Networks / S.Novikava, K.Mialtiuk, S.Gancharova e.a. // Supplementary Ways for Improving International Stability: Preprints of the IFAC Conference, Vienna, September 28-30, 1995 / SWIIS. - Vienna, Austria, 1995. - P.99-106.
28. State Design&Control Realization In New Learning Technology / S.Novikava, S.Ioska, K.Miatliuk, S.Gancharova, A.Ivanow // School Effectiveness and Improvement: Proceedings of IX International ICSEI Congress / Minsk, 1996. - P.70-72.
29. Інфармацыйныя тэхналогіі ў мастацтве: адукацыйная падтрымка / А.Бураўкін, А.Зязюля, С.Ганчарова, К.Мятлюк, А.Данічаў // Развіццё творчых здольнасцей студэнтаў: праблемы, пошукі, рашэнні: Тез. дакл. нав.-метад. канф. / БУК. -Мінск, 1996. - С.54-55.
30. Aed Theory and Hierarchical Knowledge Networks/ S.Novikava, K.Miatliuk, S.Gancharova e.a. // Life Cycle Approaches to Production Systems: Management, Control, Supervision: Preprints of the Annual Conference of ICIMS-NOE on ASI'96 /-Toulouse, France, 1996. - P.85-86.
31. Aed Theory and Hierarchical Knowledge Networks/S.Novikava, K.Miatliuk, S.Gancharova e. a. // Life Cycle Approaches to Production Systems: Management, Control, Supervision: Proceedings of the Annual Conference of ICIMS-NOE (E.P.9251) on ASI'96 / Toulouse, France, 1996. - P.377-386.
32. The Statute of Hierarchical Mathematics and Its Cybernatical Maintenance / S.Novikava, S.Gancharova, A.Zhybul e.a.// Mathematical and Computer Modelling and Scientific Computing: Preprints of 11th International Conference / Washington, DC, USA, 1997. - P.149.
33. Межы вядомых матэматычных кодаў і магчымасці іх разгортвання / С.Новікава, А.Жыбуль, А.Бураўкін, С.Ганчарова // Еругинские чтения-V:

- Тез. докл. междунар. матем. конф., Магилёв, 26-28 мая 1998г. / Могилёв:МГУ им.А.А.Кулешова, 1998. - Ч.2. - С.73.
34. Chemical Technologies - the Instance of Changing Images in Systems of Automatic Control / S.Novikava, P.Groumpos, S.Gancharova e.a. // Еругинские чтения-V; Тез.докл. междунар. матем. конф., Магилёв, 26-28 мая 1998г./Могилёв;МГУ им.А.А.Кулешова, 1998. -Ч.2.- С.72.
35. Novikava S., Gancharova S., Buka P. Mathematics Construction in Aed Theory // Large Scale Systems: Theory and Applications: Preprints of 8th IFAC/IFORS/IMACS/IFIP Symposium, Rio Patras, Greece, July 15-17, 1998 / University of Patras. - Rio Patras, 1998. - P.1024-1029.
36. Hierarchical Mathematics: Theory of Sway / S.Novikava, S.Gancharova, A.Burawkin, et al. //Large Scale Systems: Theory and Applications: Preprints of 8th IFAC/IFORS /IMACS/IFIP Symposium, Rio Patras, Greece, July 15-17, 1998 / University of Patras. - Rio Patras, 1998. - P.480-487.

РЕПОЗИТОРИЙ БГУКИ

## РЭЗЮМЕ

ГАНЧАРОВА Святлана Александраўна

ГЕАМЕТРЫЧНАЕ КАНСТРУЯВАННЕ  
НА АСНОВЕ МАТЭМАТЫЧНЫХ І КІБЕРНЕТЫЧНЫХ МЕХАНІЗМАЎ  
ІЕРАРХІЧНЫХ МНОГАЎЗРОЎНЕВЫХ СІСТЭМ

Ключавыя словы: геаметрычнае канструяванне, геаметрычныя выразы аб'екта канструявання, іерархічныя многаўзроўневыя сістэмы, дынамічныя сістэмы, рухі, дэфармацыі.

Аб'ект даследавання - геаметрычныя выразы аб'екта канструявання ў сістэмах аўтаматызаванага праектавання.

Мэта работы - пашырэнне функцыянальных магчымасцей САПР, скарачэнне тэрмінаў праектавання і паляпшэнне якасці праектных рашэнняў праз распрацоўку і даследаванне геаметрычных выказаў, арыентаваных на задачы дынамікі аб'ёмных цел у неаднародных прасторах з улікам сувязі аб'екта канструявання, яго навакольнага свету і сістэмы кіравання.

У дысертацыі прапануюцца мадэлі і метады стварэння і змены геаметрычных аб'ектаў рознай размернасці (кропкі, лініі, паверхні і аб'ёмныя целы), распрацавана сістэма дзеянняў з імі; распрацаваны спосаб азначэння сродкамі іерархічных многаўзроўневых сістэм рухаў і дэфармацый рознай прыроды (ад фізічнай да біямеханічнай) і розных узроўняў неакрэсленасці ведаў аб структурах і дынаміцы рухомых сістэм і прастораў, у якіх выконваюцца рухі.

Вынікі даследаванняў даведзены да практычнага выкарыстання на прадпрыемствах Рэспублікі Беларусь, а таксама ў вучэбным працэсе Беларускага універсітэта культуры і курсах павышэння кваліфікацыі вышэйшых інжынерных кадраў.

Рэкамендацыі па выкарыстанню - прапанаваная сістэма геаметрычных выказаў і распрацаваныя метады аналіза рухаў і дэфармацый могуць быць выкарыстаны як для канструявання геаметрычных аб'ектаў, так і для імітацыі змены рэальных сістэм і стварэння механізмаў кіравання імі.

## РЕЗЮМЕ

ГОНЧАРОВА Светлана Александровна

ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ НА ОСНОВЕ  
МАТЕМАТИЧЕСКИХ И КИБЕРНЕТИЧЕСКИХ МЕХАНИЗМОВ  
ИЕРАРХИЧЕСКИХ МНОГОУРОВНЕВЫХ СИСТЕМ

Ключевые слова: геометрическое моделирование, геометрические модели, иерархические многоуровневые системы, динамические системы, движения, деформации.

Объект исследования - геометрические модели объекта проектирования в системах автоматизированного проектирования.

Цель работы - расширение функциональных возможностей САПР, сокращение сроков проектирования и улучшение качества проектных решений путем разработки и исследования геометрических моделей, ориентированных на задачи динамики объёмных тел в неоднородных средах с учетом связи объекта проектирования, его структуры, внешней среды и системы управления.

В диссертации предлагаются модели и методы создания и модификации геометрических объектов разной размерности (точки, линии, поверхности и объёмные тела), разработана система операций над ними, предложен способ определения движений и деформаций разной природы (от физической до биомеханической) и в условиях различной неопределённости информации о структурах и динамике движущихся систем и сред, в которых движения выполняются, в терминах иерархических многоуровневых систем.

Результаты исследований доведены до практического использования на предприятиях Республики Беларусь, а также в учебном процессе Белорусского университета культуры и курсах повышения квалификации высших инженерных кадров при БГПА.

Рекомендации по использованию - предлагаемая система геометрических моделей и разработанные методы анализа движений и деформаций могут быть использованы как для проектирования геометрии объектов, так и для моделирования динамики реальных систем и построения механизмов управления ими.



## SUMMARY

GANCHAROVA Svetlana Alexandrawna

GEOMETRIC DESIGN ON THE BASE OF MATHEMATICAL AND  
CYBERNETIC MECHANISMA OF HIERARCHICAL MULTILEVEL  
SYSTEMS

*Keywords:* geometric models, hierarchical multilevel systems, dynamic systems, deformations, movements, motion design.

Research object: symbol images of design object geometry in CAD systems.

Research objective: to develop geometric image of design object as a hierarchical multilevel system aimed to the tasks of dynamics of solid with taking into account the ties of design object with environment and control system (dynamics of structures of different levels).

In the dissertation the new models and methods of constructing geometric images of diverse levels (points, lines, surfaces, solids) are suggested. The system of actions with them is elaborated. The method of description of deformations and movements is described.

Research results are practically realised on industry enterprises and in learning process of the Belarusan University of Culture and the Educational Centre of the Highest Engineering Staff.

The using recommendations - the proposed system of geometric models and developed methods of movements and deformations analysis could be used as for geometry design of objects as for modelling of real systems dynamic and control mechanizma constructing for them.