

Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті

ӘОЖ 004.92:539.371

Қолжазба құқығында

АХМЕТОВА ЖАНАР ЖУМАНОВНА

**Қатты денелердегі стационарлы емес толқындардың таралуы
есебіндегі шешімді визуализациялау және ақпараттық жүйесін құру**

6D070300 – “Ақпараттық жүйелер”

Философия докторы (PhD)
дәрежесін алу үшін дайындалған диссертация

Ғылыми кеңесшілер:
техника ғылым. док., профессор
Боранбаев Сейлхан Нарбутинович
физ.-матем. ғылым. канд., доцент
Жүзбаев Серік Сүлейменұлы

Шетелдік ғылыми кеңесшілер:
физ.-мат. ғылым. док., профессор
Карчевский Андрей Леонидович
PhD докторы, профессор
Попов Петер

Қазақстан Республикасы
Астана, 2017

МАЗМҰНЫ

| | |
|--|--------|
| НОРМАТИВТІК СІЛТЕМЕЛЕР | 3 |
| АНЫҚТАМАЛАР | 4-5 |
| БЕЛГІЛЕУЛЕР МЕН | 6 |
| ҚЫСҚАРТУЛАР | |
| КІРІСПЕ | 7-17 |
| 1 ҚАТТЫ ДЕНЕЛЕРДЕ СТАЦИОНАРЛЫ ЕМЕС ТОЛҚЫНДАРДЫҢ ТАРАЛУ ЕСЕБІН ШЕШУГЕ АРНАЛҒАН АҚПАРАТТЫҚ ЖҮЙЕНІҢ СИПАТТАМАСЫ | 18 |
| 1.1 Ақпараттық жүйенің архитектурасы мен концептуалды моделі..... | 18-20 |
| 1.2 Ақпараттық жүйенің пәндік облысы | 21-30 |
| 1.3 Ақпараттық жүйенің негізгі құраушылары | 30-45 |
| 2 ҚАТТЫ ДЕНЕЛЕРДЕ СТАЦИОНАРЛЫ ЕМЕС ТОЛҚЫНДАРДЫҢ ТАРАЛУ ЕСЕБІН ШЕШУГЕ АРНАЛҒАН АҚПАРАТТЫҚ ЖҮЙЕНІ ҚҰРУ | 46 |
| 2.1 Ақпараттық жүйедегі үдерістерді модельдеу және деректер қорын жобалау..... | 46-57 |
| 2.2 Ақпараттық жүйенің құрылымы | 57-65 |
| 3 ДЕФОРМАЦИЯЛАНАТЫН БІРТЕКТІ ҚАТТЫ ДЕНЕЛЕРДЕ СТАЦИОНАРЛЫ ЕМЕС ТОЛҚЫНДАРДЫҢ ТАРАЛУ ЕСЕБІНІҢ ШЕШІМІН ВИЗУАЛИЗАЦИЯЛАУ ЖӘНЕ ОҒАН ТАЛДАУ ЖАСАУ | 66 |
| 3.1. Деректерді визуалды түрде бейнелеу. Деректерді визуалды түрде ұсынудың тәсілдері мен құралдары..... | 67-84 |
| 3.2 Қойылған есептің шешімін ақпараттық жүйе көмегімен визуализациялау және сандық шешімге талдау жасау..... | 84-90 |
| ҚОРЫТЫНДЫ | 91 |
| ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ | 92- 99 |
| ҚОСЫМША А | 100 |
| ҚОСЫМША Ә | 101 |
| ҚОСЫМША Б | 102 |

НОРМАТИВТІК СІЛТЕМЕЛЕР

Диссертациялық жұмыста келесі стандарттарға сілтемелер қолданылған:
ҚР СТ 34.005-2002 Ақпараттық технологиялар. Кілттік терминдер және анықтамалар.

ҚР СТ 34.014-2002 Ақпараттық технологиялар.

ҚР СТ 34.019 -2005 (ISO/IEC 12207:1995, MOD) Ақпараттық технология. Бағдарламалық құралдардың өмірлік циклінің үрдістері.

ҚР СТ 34.022-2006 Ақпаратты қорғау. Жобалауға қойылатын талаптар. Ақпараттық жүйе қауіпсіздігін қамтамасыз ету, жобалау, орнату, баптау және қолдану талаптары.

ҚР СТ ISO/IEC TR 24766-2012 (ISO/IEC TR 24766:2009, IDT) Ақпараттық технологиялар. Жүйелерді және программалық қамсыздандуды құру. Инженерлік құралдың мүмкіншіліктеріне қойылатын талаптар бойынша нұсқаулық.

2015 жылдың 24 қарашасынан № 418-V «Ақпараттандыру туралы» ҚР Заңы.

АНЫҚТАМАЛАР

Диссертациялық жұмыста төмендегі терминдер мен анықтамалар қолданылады:

Ақпараттық жүйе – техникалық, программалық және ұйымдастырушылық қамсыздандырулардың, сонымен қатар, тиісті адамдарды қажетті ақпаратпен уақытылы қамтамасыз етуге арналған персоналдың жиынтығы.

Ақпараттық жүйені құру – ақпаратты басқару құралдарын құру.

Ақпараттық жүйе архитектурасы – ақпараттық жүйенің моделін, құрылымын, орындалатын функцияларын және құраушылардың өзара байланысын анықтайтын концепция.

Ақпараттық қамсыздандыру – құрамында топтастыру жүйелері және ақпаратты кодтау, бірінғай құжат жүйелері, ақпараттық ағындардың сұлбалары, деректер қорын құрудың принциптері мен тәсілдері бар жүйенің ақпараттық қорын құру тәсілдері мен құралдары.

Бастапқы күй - жүктемелер түсірілмеген жағдайда денеде ешқандай кернеулер пайда болмаған кездегі күй.

Беттік күштер - денелердің бір-бірімен байланысы кезінде пайда болатын, дененің беті бойынша таратылатын күштер.

Бизнес-үдерістердің моделін (сипатталуын) құру әдістемесі (нотациясы) – нақты әлемнің объектілерін және олардың арасындағы байланыстарды модель түрінде бейнелеуге көмектесетін тәсілдердің жиынтығы.

Бірқалыпты өзгертін жүктеме - бағыт пен мәні үнемі өзгеріп тұратын жүктеме.

Бойлық серпімді толқындар - бөлшектердің қозғалысы толқындардың таралу бағытына параллель болатын, ал деформация барлық жақты сығылу (созылу) және таза ығысудың комбинациясы түрінде болатын толқын.

Ғылыми визуализациялау – ғылыми зерттеулер нәтижелерін компьютерлік графика құралдарының көмегімен визуалды бейнелеу.

Деректерді визуализациялау – деректерді оқып-зерттеуде адам жұмысын неғұрлым тиімді түрде қамтамасыз ететін деректерді бейнелеу түрі.

Деректер моделі - өзара байланысқан деректер құрылымдарының және олармен жасалатын операциялардың жиынтығы.

Динамикалық жүктеме – уақыт бойынша мәнінің, бағытының немесе түсу нүктесінің тез өзгеруімен сипатталатын және конструкция элементтерінде маңызды инерция күштерін тудыратын жүктеме.

Концептуалды жобалау – деректерге қойылатын талаптарды жинау, талдау жасау және өңдеу.

Концептуалды (инфологиялық) модель – құрамында деректердің толық жиыны және олардың арасындағы байланысы бар нақты деректер қорын басқару жүйесінің терминдеріндегі пәндік облыстың ақпараттық моделі.

Көлемдік күштер - дененің әрбір нүктесіне әсер ететін күштер.

Қамтамасыз етуші ішкі жүйелер - ақпаратты түрлендіру үшін қолдану саласынан тәуелсіз құралдарды қолданатын орта.

Лингвистикалық қамсыздану — жүйені құру сапасын ұлғайту және адамның машинамен тілдесуін оңайлату мақсатында қолданылатын жүйедегі тілдік құралдардың жиынтығы.

Логикалық жобалау – деректерге қойылатын талаптарды деректер құрылымына түрлендіру.

Математикалық қамсыздану – жүйеде қолданылатын математикалық тәсілдердің, модельдердің және ақпаратты өңдеу алгоритмдерінің жиынтығы.

Программалық қамсыздану – функционалды есептерді шығаруға қажетті, тұрақты пайдалануға арналған программалар мен қолданушылар жұмысын жеңілдететін есептеу техникасын неғұрлым тиімді пайдалануға мүмкіндік беретін программалар жиынтығы.

Серпімділік теориясы – физикалық әсер салдарынан туындаған қатты денедегі деформацияны және осы жағдайда тыныштық күйде де, қозғалыс кезінде де туындайтын ішкі күштерді зерттейтін механика бөлімі.

Серпімді толқындар – қатты денелерде, сұйықтықтарда және газ тәріздес орталарда таралатын серпімді ығысулар, мысалы, жер сілкінісі кезінде жер қабатында пайда болатын толқындар, сұйықтарда, газдарда және қатты денелерде таралатын дыбыстық және ультрадыбыстық толқындар.

Серпімділік - сыртқы физикалық әсер тоқталғаннан кейін бастапқы қалпына және көлеміне толығымен қайта келетін қатты денелердің қасиеті.

Соғу жүктемесі - бағыт пен мәні эпизодты түрде өзгеріп тұратын жүктеме.

Техникалық қамсыздану – жүйедегі ақпаратты түрлендірудің технологиялық үдерісіне қатысатын техникалық құралдардың кешені.

Толығымен серпімділік - сыртқы физикалық әсерлер алынып тасталған кезде бастапқы өзінің қалпына және көлеміне толығымен қайтіп келетін қатты дененің қасиеті.

Үдерістерді (бизнес-үдерістерді) модельдеу – жүйенің толық түрде қалай жұмыс істейтінін және оның қызметі әрбір бөлікте қалай ұйымдастырылғанын анықтауға мүмкіндік туғызатын, жүйенің қызметін оңтайландыру жолдарын іздеудің тиімді тәсілі.

Ұйымдастырушылық қамсыздану – жүйемен жұмыс жасайтын персоналдың жұмысын тиімді етуге бағытталған кешен.

Ығысу толқындары – тербеліс кезінде бөлшектердің қозғалысы толқынның таралу бағытына перпендикуляр, ал деформация ығысудың бір бөлігі болатын толқын.

Физикалық жобалау – нақты МҚБЖ-не арналған деректер қорының сұлбасын құру.

Функционалды ішкі жүйе - бір немесе бірнеше өзара байланысқан функцияларды жүзеге асыратын ішкі жүйе.

БЕЛГІЛЕУЛЕР МЕН ҚЫСҚАРТУЛАР

Диссертациялық жұмыста төмендегідей белгілеулер мен қысқартулар қолданылды:

БАҚ - бұқаралық ақпарат құралдары

ДҚ – деректер қоры

ДВ – деректерді визуализациялау

АЖ – ақпараттық жүйе

ШЭӘ – шеткі элементтер әдісі

КЖА-әдістер – көпжиілікті анимациялық әдістер

ДҚБЖ – деректер қорын басқару жүйесі

ЖЭО – жылу электр орталығы

АСМ SIGGRAPH – (Association for Computing Machinery Special Interest Group on Graphics) Есептеу машинасының графика облысындағы қызығушылық бойынша құрылған арнайы топ ассоциациясы

САЕ – (Computer-Aided Engineering) Компьютерлік инженерия

CASE-жүйелер – (Computer-Aided Software Engineering-жүйелері) Компьютерлік инженерия жүйелері

DX - (Data Explorer) Деректер жолсерігі

ExVis - (Exploratory Visualization) зерттеу визуализациясы

IEEE – (Institute of Electrical and Electronics Engineers) Электр және электроника инженерлерінің институты

IDEF- (Integration Definition for Function Modeling) Функцияларды модельдеуге арналған интеграцияны анықтау

IDEFIX – (Integration Definition for Information Modeling) Ақпараттық модельдеуге арналған интеграцияны анықтау

IDEFIX (Integration Definition for Information Modeling) Ақпараттық модельдеу үшін интеграцияны анықтау

LIC – (Line Integral Convolution) Сызықты интегралды оралу

PAL (Paradox Application Language) Paradox қосымшалар тілі

QBE – (Query by Example) үлгі бойынша сұраныс

RAD – (Rapid Application Development) Қосымшаларды жылдам құру

ViSC – (Visualization in Scientific Computing) Ғылыми есептеуді визуализациялау

UML – (Unified Modeling Language) Біріздендірілген модельдеу тілі

NASA – (National Aeronautics and Space Administration) Аэроавтика және Космос бойынша Ұлттық Басқарма

КІРІСПЕ

Диссертациялық жұмыс қатты денелерде стационарлы емес толқындардың таралу есебін шешуге арналған ақпараттық жүйені құруға және осы ақпараттық жүйе көмегімен алынған есептің сандық шешімін визуализациялауға арналады.

Аталған жұмыста инженерлік есептердің белгілі бір класына арналған ақпараттық жүйені құру қарастырылады. Ақпараттық жүйенің пәндік облысы ретінде динамикалық жүктеме салдарынан деформацияланатын қатты денеде пайда болатын толқындық үдеріс алынды.

Диссертациялық жұмыста ақпараттық жүйенің архитектурасы, концептуалды моделі және құрылымы келтіріледі, сонымен қатар, ақпараттық жүйенің негізгі құраушылары мен оның жұмыс істеу принципі қарастырылған. Ақпараттық жүйені құру кезінде ондағы үдерістерді модельдеу және деректер қорын жобалау жүзеге асырылды.

Диссертациялық жұмыста нақты мысал ретінде инженерлік есептің бір түрі алынып, осы есепті шешуде кеңістіктік координаттар бойынша бөлшектеу идеясын пайдаланатын бисипаттама сандық әдісі қолданылды.

Құрылған ақпараттық жүйе құрамында есеп қойылымының сандық шешімін визуализациялайтын программалық құраушысы бар. Толқынның таралу жылдамдықтары мен кернеулерінің, сонымен қатар, жылдамдықтардың векторлық өрістерін визуализациялау сандық есептеу нәтижелерін көрнекі түрде бейнелеуге және адамға сандық ақпаратты тиімді, әрі жылдам қабылдануына мүмкіндік береді. Алынған нәтижелер бойынша біртекті қатты дененің кернеулі күйіне түсініктеме берілді.

Зерттеу жұмысының өзектілігі.

Қазіргі таңда алдыңғы қатарлы өндірістік технологияларды, экономиканы басқаруды, ғылыми зерттеулерді, білім және медицина салаларын, баспа ісін, БАҚ қызметін, коммуникация құралдарын және т.б. деректерді өңдеуді заманауи ақпараттық жүйесіз елестету мүмкін емес.

Ақпаратты өңдеудің ең кең таралған кластарының бірі - ақпараттық жүйелер. Бүгінде ақпарат қоғам дамуының негізгі ресурстарының бірі ретінде қарастырылады, ал ақпараттық жүйелер кез келген саладағы адамдардың жұмысының өнімділігін және тиімділігін арттыру құралы болып табылады. Ақпараттық жүйелер ғылыми, өндірістік, басқару, қаржы салаларында кеңінен қолданылады. Оларды ендіру және қолдану белсенді түрде жүргізілуде.

Осыған орай, аталған жұмыста ақпараттық жүйелер мен технологиялардың дамуына өз үлесін қосатын, сонымен қатар, ақпараттық жүйелердің қолданылу

шеңберін ғылыми зерттеу саласында да, өндірісте де кеңейтетін ақпараттық жүйе құрылды.

Әрбір ақпараттық жүйенің өзінің пәндік облысы, яғни, ақпараттық жүйенің көмегімен модельденетін нақты әлемнің бөлігі болады. Тәжірибелік тұрғыдан да, ғылыми зерттеу тұрғысынан да қызықты, практикалық сипаттағы есептердің бірі - қолданбалы инженерлік есептер. Осыған байланысты, аталған ақпараттық жүйенің пәндік облысы ретінде деформацияланатын біртекті қатты денедегі стационарлы емес толқындардың таралу есебі алынды.

Бұл ақпараттық жүйенің негізгі ядросы деформацияланатын қатты денедегі толқындық үдеріс есебін сандық есептеуге, сонымен қатар, сандық шешімді жылдамдықтар мен кернеулердің осциллограммалары және жылдамдықтардың векторлық өрістері түрінде визуализациялауға арналған программалық құраушысы болып табылады.

Біртекті серпімді орталарда кернеулер толқындарының таралуын зерттеу деформацияланатын қатты денелер механикасының динамикалық мәселелерімен байланысты есептерді шешуде аса өзекті мәселе болып табылады. Техниканың әр түрлі салаларында динамикалық жүктеме режимі жағдайында жұмыс жасайтын конструкциялық элементтердің, технологиялық өнімдердің және т.б. кеңінен қолданылуы кернеулі-деформацияланған күйдің динамикалық эффектілеріне сапалық, әрі сандық талдау жасау қажеттілігін арттырды. Динамикалық жүктемелер салдарынан оларда серпімді толқындар пайда болады. Осы толқындарды дұрыс есептеу бүкіл конструкция және технология жұмысының беріктілігі мен сенімділігін бағалауға көмектеседі [1].

Инженерлік тәжірибеде объектілерге түсірілетін тек қана статикалық жүктемені ғана емес, динамикалық жүктемені де есептеу қажет болатын көптеген есептер бар. Мұндай есептерге, мысалы, мыналар жатады:

- Инженерлік қондырғылар мен конструкциялардың жобалануында және құрылысында материалдарды үнемді пайдалану;
- Динамикалық жүктемелердің құрылыс конструкцияларының төзімділігіне, қаттылығына, жарылуға төтеп беру беріктілігіне әсерін анықтау;
- Сериялық құрылыс өнімдерінің жасалуын зерттеу;
- Эксплуатациялық жағдайларға максималды түрде жақын шарттар кезінде ғимараттардың конструкцияларына және қондырғыларына, көпірлерге және т.б. немесе сейсмосеңді аймақтарға объектілерді орналастыру кезінде олардың жұмысына болжам жасау мақсатында зерттеулер жүргізу.

Аталған зерттеу жұмыстары маңызды болып табылады, себебі құрылыс тәжірибесінде статикалық жүктеменің үлкен мәніне төтеп бере алатын инженерлік конструкциялар оларға салыстырмалы түрде азғантай ғана динамикалық күштердің түсірілуі әсерінен бұзылатын жағдайлар көптеп кездеседі. Қатты денелерде серпімді толқындардың таралуы салдарынан туындайтын объектінің кернеулі күйінің толық кеңістіктік-уақытты көрінісін зерттеусіз күштік динамикалық жүктемелерді анықтау мүмкін емес. Осыған байланысты заманауи ақпараттық технологияларды қолдана отырып, динамикалық жүктемелердің әсеріне есептелінген объектілермен тәжірибелік және теориялық түрде зерттеулер жасаудың маңызы зор [2].

Қазіргі кезде теория мен тәжірибенің байланысы, яғни, есептеулерде, жүзеге асыруда тікелей қолдануға арналған және жеткілікті түрде үдерістердің физикалық мәнін нақты сипаттайтын серпімді денелерде динамикалық үдерістердің математикалық модельдерін құру қажет. Сондықтан қатты денелерде стационарлы емес толқындардың таралу есебін шешуде сандық әдістерді қолдану орталардағы және конструкциялардағы толқындық үдерістерді зерттеудің неғұрлым үнемді де, тиімді тәсілі болып табылады. Мұндай сандық әдістерді қолдану математикалық модельдерді және алгоритмдерді құрумен, сандық есептеулерді жүргізумен және олардың негізінде әр түрлі динамикалық әсерлер жағдайында орталар мен конструкциялардың кернеулі-деформациялық күйін зерттеу үшін түрлі компьютерлік тәжірибелерді жасауға мүмкіндік беретін программалық қамсыздану құрумен байланысты. Осындай типтегі программалық қамсызданулар нақты объектілермен тәжірибе жасауға мүмкіндік болмайтын жағдайларда компьютердің көмегімен тәжірибелер жасап, болжамдар жасауға мүмкіндік береді [3].

Құрылған ақпараттық жүйенің айрықша ерекшелігі – жүйеде есеп қойылымының сандық шешімін визуализациялайтын құраушысының болуында. Американдық математик, әрі философ Ричард Хэмминг: «Есептеулердің мақсаты сандар емес, оларды түсіну (The purpose of scientific computing is in sight, not numbers.)» деп, ғылыми қауымдастықтың назарын визуализациялаудың маңыздылығына аударған болатын. Осыған орай, сандық есептеулерден алынған нәтижелерді көрнекі түрде бейнелеу және сандық ақпаратты түсінуді жеңілдету мақсатында диссертациялық жұмыста жылдамдықтар мен кернеулердің осциллограммалары мен жылдамдықтардың векторлық өрістері түріндегі визуализация жасалды.

Бүгінде ақпараттық технологиялар саласындағы әлемдік даму, есептеу техникасының кеңінен ендірілуі, қолданбалы және ғылыми зерттеулердегі жаңалықтардың жаңа деңгейге көшуі ғылыми үдерістерді ұйымдастыру барысына елеулі өзгерістер енгізді. Ғылыми зерттеулер жүргізу барысында физикалық үдерістерге және деректерге талдау жасау кезінде компьютерлік визуализацияны қолдану әдісі бірден бір үздік тәсіл болып табылады. Егер бұрындары сандық шешімдердің визуалды түрде бейнеленуі аппараттық құралдарының, есептеу ресурстарының мүмкіндіктеріне, сонымен қатар, математикалық модельдеудің шығаратын есептеріне қойылған талаптарына және де қолданылатын сандық әдістердің визуализациялау деңгейіне қатты тәуелді болса, қазіргі кезде программалық құралдардың және суперкомпьютерлердің көптігінің арқасында мұнан да күрделі есептерді шешуге мүмкіндік туды. Көптеген физикалық тәжірибелерді және экономика, экология, физика, биология және т.б. салаларындағы күрделі есептерді сәйкес программалық қамсыздану және компьютерлік визуализациялау көмегімен шешу мүмкіндігі пайда болды. Визуализациялау дегеніміз тек қана сандық деректердің үлкен көлемін бейнелеу әдісі ғана емес, сонымен қатар, зерттеудің және талдау жасаудың бір тәсілі болып табылады. Сондықтан да, қазіргі таңда

компьютерлік визуализациялау барлық ғылым саласында қолданыс табуда. Басқа да кез келген зерттеу визуализациясы сияқты, диссертациялық жұмыста жүзеге асырылған визуализациялау деректер жиынын өңдеуге және оларға талдау жасауға арналған.

Жоғары айтылған жайттар зерттеу тақырыбының өзектілігін дәлелдейді, әрі таңдалынған пәндік облысқа арналған ақпараттық жүйені құрудың қажеттілігін дәлелдейді.

Алдыңғы зерттеу жұмыстарына шолу жасау.

Серпімділіктің статикалық және динамикалық есептерін шешу және осындай есептердің сандық жүзеге асырылуы көптеген ғалымдарды бұрыннан қызықтарған. Мысалы, шекаралардың әр түрлі геометриясына ие облыстарда серпімділік пен термосерпімділіктің статикалық және динамикалық есептерін шешу үшін шекаралық интегралды теңдеулер әдісі П.И. Перлин [4] және В.Д. Купрадзе [5], А.Г. Угодчиков, Н.М. Хуторянский [6-7], Sah J, Tasaka N., Crouch S.L. және т.б. [8-10] еңбектерінде келтірілген.

Осы бағыттағы қарқынды зерттеу жұмыстары қазақстандық механиктер мектебінде де жүргізілді және Ш.М. Айтиалиев, Л.А. Алексеева, Ш.А. Дильдабаев, Г.К. Закирьянова және т.б. [11-19] еңбектерінде көрініс тапты.

Шекаралық элемент әдісінің сандық жүзеге асырылуы бүгінгі таңда тұтас орталар механикасының стационарлы және квастационарлы есептерін шешуде К.Бреббиа, Ж.Теллес, Л.Броубел, С.Уокер, D.Beskos және т.б. [20-22] еңбектерінде кеңінен қолданылған.

Шектік элементтер әдісі Қазақстанда қарқынды түрде дамыған. Әсіресе, таулы табиғатты механиканың модельді есептерін шешуде Ш.М. Ержанов, Ж.С. Айтиалиев, Ж.К. Масанов, И.Б. Баймаханов және т.б. [23-26] еңбектерінде қолданылған.

Серпімді орталарда стационарлы емес динамикалық есептерді шешу үшін көптеген сандық әдістер: Р.Д. Клифтон [27], В.В. Рекер [28] және т.б. еңбектерінде кеңістіктік сипаттамалардың шектік айырымды әдісі, С.К. Годунов [29] еңбектеріндегі алшақтық ыдырау әдісі, Н.Н. Яненко [30], еңбектеріндегі бөлшектік қадамдар әдісі, Г.Т. Тарабрин [31,32], Т.Б. Байтелиев, Б.М. Мардонов, Н.К. Аширбаев [33-35], С.С. Джужбаев [1, 36, 37], Б.Т. Сарсеновтың [38-41] және т.б. еңбектерінде, сонымен қатар басқа да сандық әдістер Е.Н. Веденяпин, В.Н. Кукуджанов [42] және т.б. ғалымдардың еңбектерінде қолданылған.

Ғылыми визуализациялаудың ғылыми пән ретінде қалыптасуы 1987 жылдан басталады. Осы жылы АҚШ-тың Ұлттық ғылыми қоры (NSF) және ACM SIGGRAPH ұсыныс бойынша IEEE Computer Society қоғамында ғылыми деректерді визуалды түрде бейнелеу мәселесін көтерген пікір-талас өткізілді. Бұл шарада ғылыми визуализациялаудың негізгі міндеттері мен даму бағыттары белгіленген. Осы жылы АҚШ-тың Ұлттық ғылыми қоры

визуализациялау жүйелерін құру жөніндегі ViSC ұсынысын жариялады [43]. Осы жағдайлар ғылыми визуализациялаудың дамуына бастау салды.

80-жылдардан бастап визуализациялау мәселелерімен В.Мс Cormick, T.De Fanti [43] сияқты ғалымдар айналыса бастады. Ағындарды визуализациялау T.J. Mueller [44], J. Stolk, J.J.van Wijk [45], L.K.Forsell, S.D. Cohen [46] еңбектерінде зерттелген. Ағындарды визуализациялаудың топологиялық әдістері X.Tricoche, C.Garth [47] еңбектерінде қарастырылса, визуализациялаудың құрылымын жасаумен S.Uselton [48] сияқты ғалымдар айналысқан.

Ресей ғалымдарының ішінен визуализациялау мәселелерімен Ю.М.Баяковский, В.А.Галактионов, Т.Н.Михайлова [49] айналысқан. Олар ГРАФОР программалық қамсыздануын визуализациялау мақсатында қолданушылардың бірі болған. Ағындарды визуализациялауды зерттеуде оптикалық әдістерді А.Ф.Белозеров [50] ұсынған, ал визуализациялау жүйесін құру принциптерімен және жұмыс істеу мәселелерімен Д.В.Могиленских, И.В.Павлов, [51] шұғылданған. Визуализациялаудың қызметінің кеңеюіне өз үлесін А.Е.Бондарев, Е.Н. Бондарев [52] және т.б. қосты.

Инженерлік есептерді шешуге арналған программалық кешендерді қолдану облысында қатты дене, сұйықтықтар, газдар механикасының, жылу берудің, акустиканың, электромагниттік өрістердің және т.б. салалардың кешенді есептерін шығаруға мүмкіндік беретін әмбебап программалық кешендер бар. Осындай программалардың көмегімен модельдеу ұзаққа созылатын, қымбатқа түсетін нақты жағдайларда жасалатынын сынақтарды жасауға немесе зерттеу үдерісін тездетуге, объектілердің өмірлік циклін оқып зерттеуге мүмкіндік береді. Мұндай программалық кешендерге NASTRAN, COSMOS, ANSYS жатады. ANSYS, NASTRAN және COSMOS программалық кешендері космостық және әскери мақсаттарда жасалынған. Қазірдің өзінде осы программалық кешендердің жаңадан шығарылған өнімдерінің басым бөлігі жабық күйде, олар тек қана дамыған елдердегі ашық зерттеу орталықтарына берген уақытта ғана қол жетімді болады [53-55].

ANSYS программалық кешені – шеттік-элементті (ШЭЭ) талдау жасаудың әмбебап программалық жүйесі. Ол соңғы 50 жылда жақсы даму үстінде. ANSYS компьютерлік инженеринг облысындағы мамандар арасында танымал және деформацияланатын қатты дене механикасының және конструкциялар механикасының, сұйықтықтар және газдар механикасы есептерін, жылу беру және жылу алмасу есептерін, электродинамика, акустика, және байланысқан өрістер механикасының сызықты және сызықты емес, стационарлы және стационарлы емес, кеңістіктік есептерін шығарады [56-58].

Деформацияланатын қатты денедегі стационарлы емес, серпімді толқындарды модельдеумен, сонымен қатар, шеттік - элементтер әдісі негізінде сандық шешімдермен, әрі оларды компьютерлік жүзеге асыру мәселелерімен ресейлік ғалымдар: В.К.Мусаев, С.В.Ситник, А.А.Тарасенко, В.Г.Ситник, М.В. Зюбина және т.б. [59-61] айналысқан.

Деформацияланатын қатты дене механикасының стационарлы емес, кеңістіктік есептерін шешуге арналған программалық кешендердің барлығы дерлік шектік-элементтер әдісі негізінде құрылған.

Деформацияланатын қатты денелерде болатын толқындық үдерістер мәселелерін шешуге және осы шешімдерді визуализациялауға арналған жаңа ақпараттық технологияларды құру облысына шолу жасау барысында қатты денелерде динамикалық жүктеме салдарынан пайда болатын стационарлы емес толқындардың таралу есебін сандық түрде шешіп, алынған шешімді визуализациялайтын программалық компоненті бар ақпараттық жүйелердің болмағанын айтуға болады. Сондықтан да автордың жасаған қатты денелерде стационарлы емес толқындардың таралу есебін бисипаттама сандық әдісінің негізінде сандық шешімін алатын және осы шешімнің компьютерлік визуализациясын жасауға мүмкіндік беретін программалық құраушысы бар ақпараттық жүйесі деформацияланатын қатты дене механикасының динамикалық мәселелерін зерттеуге арналған ақпараттық технологияларды құру мен пайдаланудың дамуына өз үлесін қосады.

Зерттеу мақсаты: деформацияланатын біртекті қатты денеде стационарлы емес толқындардың таралуы инженерлік есептер класын шешуде ғылыми зерттеулерді автоматтандыруға арналған ақпараттық жүйені құру және алынған сандық шешімді визуализациялау.

Зерттеу міндеттері

Диссертациялық жұмыста қойылған мақсатқа қол жеткізу үшін автор келесі міндеттерді шешті:

- Ақпараттық жүйенің архитектурасын құру.
- Ақпараттық жүйенің концептуалды моделін құру.
- Ақпараттық жүйедегі үдерістерді модельдеу.
- Бисипаттама сандық әдісі негізінде деформацияланатын біртекті қатты денеде таралатын стационарлы емес толқындардың таралу есебін шешетін алгоритмін құру.
- Деформацияланатын біртекті қатты денеде таралатын стационарлы емес толқындардың таралу есебін шешетін программалық модульді құру.
- Деформацияланатын біртекті қатты денеде таралатын стационарлы емес толқындардың таралу есебінің сандық шешімін визуализациялайтын программалық модульді құру.

Зерттеу объектісі: Деформацияланатын біртекті қатты денеде стационарлы емес толқындардың таралу үдерісінің сандық шешімін визуализациялау және оның интерпретациясы.

Зерттеу пәні: Ақпараттық жүйелер, визуализациялау, бисипаттама сандық әдісі, деформацияланатын біртекті қатты денеде таралатын стационарлы емес толқындардың таралуы.

Зерттеу әдістемесі

Серпімділіктің динамикалық теориясы есептерінің аналитикалық шешімдері алынған жұмыстарға қысқаша талдау жасаудың нәтижесі олардың өте күрделі, әрі жүктеме түсірілген жерлерден алыс және фронттарға жақын

нүктелерден ғана зерттеуге мүмкіндік барын көрсетті. Аналитикалық әдістер есептердің кең көлемінің шешімдерін табуға мүмкіндік берді, әдетте, олар шекаралық шарттарында шектеулері белгілі қарапайым геометриялық кескінді денелерге арналған есептер. Ол тәжірибелік есептеулерде аналитикалық әдістерді қолданудың мүмкіндігін шектейді.

Серпімді дененің динамикалық күйін сипаттайтын теңдеулер жүйесінің күрделілігі қазіргі таңда есептердің толық және жеткілікті түрде нақты шешімін табу үшін көп жағдайда тек жылдам жұмыс жасайтын компьютерлердің көмегімен сандық әдістерді қолданудың арқасында ғана қол жеткізуге себепкер болды. Соңғы жайт соңғы жылдары серпімділіктің динамикалық теориясы есептерін сандық есептеу түрінде шешуге арналған әдістердің әр түрлі модификацияда (шектік-айырымдар әдісі, бөлшектік қадамдар, шекаралық-интегралды теңдеулер, кешігуші потенциалдар және т.б.) көптеп пайда бола бастауына түрткі болды. Бұл жағдайда алгоритмдердің сандық жүзеге асырылуының жаңа мүмкіндіктері де, сонымен қатар, аналитикалық зерттеумен шешімі табылмайтын нақты есептер қатарының қажеттілігі де есепке алынды [1].

Бүгінгі таңда әр түрлі денелерде және орталарда стационарлы емес толқындардың таралу үдерісін математикалық модельдеу өзекті мәселелердің бірі болып табылады. Серпімді денелердегі стационарлы емес есептерді шешу үшін әр түрлі сандық және сандық аналитикалық әдістер қолданылады: кеңістіктік сипаттамалар әдісі, шекті-элементтер әдісі, шекаралық интегралдар әдісі және т.б. Кеңістіктік сипаттамалар әдісін қолдана отырып, есептелетін айырым әдісін ең алғаш болып Р.Д.Клифтон [27] жазық динамикалық есептерді зерттеуде қолданды, содан [28] В.В.Рекердің тіктөртбұрышты кескіндегі изотропты денелердегі серпімді толқындардың таралуын зерттеу барысында дамытылды.

Шешуші-айырымды теңдеулерді алудың қарапайымдылығының арқасында қосымшаларды жасауда бірден бір қолайлы әдістердің бірі Г.Т. Тарабриннің [31,32] еңбектерінде келтірілген бөлшектеу әдісінің идеясын қолданатын бисипаттама әдісі болып табылады. Аталған тәсіл Клифтонның әдісімен салыстырғанда, туындының және функцияның өздерінің интерполяциясын немесе аппроксимациясын қолдана отырып, симметриялау операциясын қажет етпей, шешуші теңдеулерді алуға мүмкіндік береді. Шекаралық және бұрыштық нүктелерде шекті айырымды анықтауышты теңдеулерді шынайы түрде, қосымша қатынастарды қатыстырмай-ақ алуға болады [27-28]. Бұл әдістегі айтарлықтай жеңілдету шекті-айырымды аппроксимациядан бисипаттамалық бағыттардың туындыларын алып тастау нәтижесінде жасалады. Ұсынылып отырған әдістің артықшылығы шекті-айырымды теңдеулердің тәуелділік облысын бастапқы дифференциал теңдеулердің тәуелділік облысына максималды түрде жақындатады. Осы тәсіл деформацияланатын қатты денеде стационар емес толқындардың таралу есебінің сандық шешімін табуда қолданылады.

Жұмыстың ғылыми жаңалығы: аталған жұмыста ең алғаш рет қолданбалы инженерлік есептердің сандық шешімін визуализациялайтын

программалық модулі бар ақпараттық жүйе құрылды. Ақпараттық жүйе құрылған алгоритм бойынша қажетті есептеулерді жүргізіп, алынған шешімдерді деректер қорында сақтап, оларды визуализациялайды. Деректер қорында кіріс ақпараттың бар болуы жағдайында ақпараттық жүйе есептеулерді жүргізбей, деректер қорында бар дайын шешімді алып, бірден визуализациялау жасайды. Ал бұл уақытты үнемдеуге мүмкіндік туғызады.

Жұмыс нәтижелерінің сенімділігі төмендегі жағдайлармен расталады:

– Зерттеу нәтижелері рецензияланатын шетелдік және отандық ғылыми басылымдарда, соның ішінде Thomson Reuters және Scopus мәліметтер қорына кіретін басылымдарда жарық көрді;

– Алыс және жақын шетелдерде ұйымдастырылған халықаралық конференцияларда апробациядан өтті;

– Ғылыми семинарларда апробациядан өтті;

– Диссертациялық жұмыс нәтижелерінің өндіріске және оқу үдерісіне ендіру актілері алынды;

– Диссертациялық жұмыс нәтижесінде құрылған ақпараттық жүйеге Қазақстан Республикасы әділет министрлігінің авторлық құқық объектісіне құқықтарды мемлекеттік тіркеу туралы куәлігі берілді (№240, 03.02.2017ж.).

Қорғауға шығарылатын нәтижелер:

– Деформацияланатын біртекті қатты денеде таралатын стационарлы емес толқындардың таралу есебін шығаруға және визуализациялауға арналған ақпараттық жүйені құру;

– Қатты денеде таралатын стационарлы емес толқындардың кернеулер мен жылдамдықтар өрістерін сандық есептеуін жүзеге асыратын программалық компонентті құру;

– Деформацияланатын біртекті қатты денеде таралатын стационарлы емес толқындардың жылдамдықтар мен кернеулерін және жылдамдықтар өрісін визуализациялау.

Ізденушінің қосқан жеке үлесі:

– Диссертациялық жұмыстың барлық бөлімдері бойынша зерттеу жұмыстарын тікелей орындау;

– Деформацияланатын біртекті қатты денеде таралатын стационарлы емес толқындардың таралу есебін шығаруға және визуализациялауға арналған ақпараттық жүйені құру;

– Деформацияланатын біртекті қатты денеде таралатын стационарлы емес толқындардың жылдамдықтар мен кернеулерін және жылдамдықтар өрісін визуализациялауға арналған программалық компонентті құру;

– Есепті шығарудың алгоритмін құру және кеңістіктік координаталар бойынша бөлшектеу тәсілі идеясын қолданатын бисипаттама әдісінің негізінде диссертациялық жұмыста қарастырылатын есеп қойылымының сандық есептелуін жүргізу;

– Құрылған ақпараттық жүйе көмегімен алынған есеп қойылымының сандық шешімін визуализациялау;

– Құрылған ақпараттық жүйе көмегімен сандық тәжірибелер жүргізу.

Зерттеудің теориялық және тәжірибелік мәні

Диссертациялық жұмыста құрылған, қатты денелерде стационарлы емес толқындардың таралу есебінің шешімін визуализациялауға арналған программалық компоненті бар ақпараттық жүйе динамикалық жүктеме түсірілу салдарынан деформацияланатын біртекті қатты денеде пайда болатын стационарлы емес толқындардың кернеулі-деформацияланған күйін зерттеуге мүмкіндік береді. Сонымен қатар, әр түрлі қатты денелерге түсірілетін әр түрлі динамикалық әсерлерді модельдеу арқылы нақты объектілердің өзімен тәжірибе жасауға мүмкіндік болмайтын жағдайда құрылыс конструкциялары мен құрылыс орталарының кернеулі-деформациялық күйін зерттеп, компьютерлік тәжірибелер жасауға мүмкіндік туғызады.

Құрылған ақпараттық жүйенің көмегімен алынған визуализация қатты денелерде серпімді толқындардың таралуы салдарынан пайда болатын кернеулі күйінің кеңістікті-уақытты бейнесін оқып-зерттеуге мүмкіндік береді.

Аталған ақпараттық жүйені инженер-жобалаушы, инженер-құрылысшы, инженер-құрастырушы мамандықтары бойынша студенттерді дайындайтын оқу орындарының және құрылыс физикасы, шахталық құрылыс, көлік жасау, сейсмикалық мәселелермен айналысатын ғылыми зерттеу институттарының оқу үдерісінде қолдануға болады.

Жалпы алғанда, құрылған ақпараттық жүйе көмегімен алынған нәтижелерді серпімділік теориясы, сейсмология, құрылыс, машина жасау салаларының кең көлемдегі есептерін шығаруда қолдануға болады.

Диссертация нәтижелерінің апробациядан өтуі

Диссертациялық жұмыста алынған негізгі нәтижелері бойынша төмендегі іс-шараларда баяндама жасалды:

- 1) Алыс шетелде ұйымдастырылған халықаралық конференцияларда:
 - The 2nd International Conference on Computational and Experimental Science and Engineering (ICCESEN-2015), Анталия қаласы, Түркия, 14-19 қазан, 2015 жыл;
 - The 4th Abu Dhabi University Annual International Conference Mathematical Science and Its Applications (ICMSA-2015), Абу Даби қаласы, Біріккен Араб Эмираттары, 23-26 желтоқсан, 2015 жыл;
 - The 13th International Conference on Information Technology: New Generations (ITNG-2016), Невада штаты, Лас Вегас қаласы, АҚШ, 11-13 сәуір, 2016 жыл;
 - The 20th International Conference on Circuits, Systems, Communications and Computers (CSCC 2016), Корфу аралы, Грекия, 14-17 шілде, 2016 жыл;
 - The 2nd International conference on Fuzzy Systems and Data Mining (FSDM-2016), Макао қаласы, Қытай, 11-14 желтоқсан, 2016 жыл.
- 2) ҚР өткізілген халықаралық конференцияларда:
 - «Қазақстан ғылымындағы, білім беру саласындағы және өнеркәсіптегі инновациялар» Халықаралық ғылыми-тәжірибелік конференциясы, Алматы қаласы, 18-19 қараша, 2015 жыл;

– «Қоғамды ақпараттандыру-2016» V Халықаралық ғылыми-тәжірибелік конференциясы, Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана қаласы, 19 мамыр 2016 жыл.

3) Ғылыми семинарларда.

Диссертациялық жұмыс тақырыбы бойынша жариялымдар

Диссертациялық жұмыс тақырыбы аясында жүргізілген ғылыми зерттеулердің нәтижелері бойынша 14 мақала жарық көрді. Олардың 4-і Thomson Reuters және Scopus халықаралық деректер қорының басылымдарында индекстелді [62-65], оның ішінде 1 мақала Thomson Reuters халықаралық деректер қорына кіретін нөлдік емес импакт-факторлы ғылыми журналда; 5 мақала ҚР Білім және ғылым министрлігінің білім беру мен ғылым саласында бақылау Комитетінің ұсынған ғылыми журналдарда [66-70]; 4 мақала алыс шетелдерде және ҚР-де ұйымдастырылған халықаралық конференциялар материалдарында; 1 мақала ҚР-ның ғылыми журналында жарық көрді [71-74].

Диссертациялық жұмыс құрылымы және көлемі

Диссертациялық жұмыс кіріспеден, 3 бөлімнен, қорытындыдан, пайдаланылған әдебиеттер тізімі мен қосымшалардан тұрады.

Кіріспеде зерттеу облысының жұмыстарына қысқаша шолу жасалынып, зерттеу тақырыбының өзектілігі мен ғылыми жаңалығы, зерттеу мақсаты мен міндеттері, зерттеу әдістемесі, зерттеу жұмысына қосқан автордың өзіндік үлесі, жарық көрген мақалалар туралы мәліметтер мен жұмыстың апробациялары жазылған.

Бірінші бөлімде есептің қойылымы келтірілген және ақпараттық жүйе туралы түсінік, құрылған ақпараттық жүйенің пәндік облысы қарастырылған. Сонымен қатар, қатты денелерде стационарлы емес толқындардың таралу есебін шешуге арналған ақпараттық жүйесінің архитектурасы мен концептуалды моделі келтірілген.

Екінші бөлім қатты денелерде стационарлы емес толқындардың таралу есебін шешуге арналған ақпараттық жүйені құруға арналған. Аталған бөлімде ақпараттық жүйедегі үдерістерді модельдеу, деректер қорының модельдері, деректер қорын жобалау, ақпараттық жүйені құрудың тәсілдері мен принциптері қарастырылған. Сонымен қатар, құрылған ақпараттық жүйенің құрылымымен, оның жұмыс істейтін принципімен және қолданушы нұсқаулығымен таныстырылған.

Үшінші бөлімде деформацияланатын біртекті қатты денелерде стационарлы емес толқындардың таралу есебінің сандық шешімін визуализациялау, диссертациялық жұмыста қарастырылатын есептің қойылымының шешіміне компьютерлік визуализация көмегімен талдау жасалған.

Қорытындыда диссертациялық жұмыс шеңберінде автордың жүргізген жұмыстарының нәтижелері келтірілген.

Диссертациялық жұмыстың мазмұны пайдаланылған әдебиеттер тізімімен тәмамдалады.

А қосымшасында құрылған ақпараттық жүйеге ҚР Әділет Министрлігімен 03.02.2017-да берілген авторлық құқық объектісіне құқықтарды мемлекеттік тіркеу туралы куәлігі (№ 240) келтірілген.

Ә қосымшасында қатты денелерде стационарлы емес толқындардың таралу есебінің шешімін визуализациялауға арналған ақпараттық жүйені өндіріске ендіру туралы акті келтірілген.

Б қосымшасында диссертациялық жұмыстың нәтижелерін Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ-і «Механика-математика» факультетінің «Механика» кафедрасының оқу үдерісіне ендіру туралы акті келтірілген.

В қосымшада халықаралық конференциялардың сертификаттары.

Автор отандық ғылыми кеңесшілері - техника ғылымдарының докторы, Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті «Ақпараттық жүйелер» кафедрасының профессоры Боранбаев Сейлхан Нарбутиновичке, физика-математика ғылымдарының кандидаты, Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті «Ақпараттық жүйелер» кафедрасының доценті Жүзбаев Серік Сүлейменұлына есептің қойылымы, риясыз көрсеткен көмектері, бағасыз кеңестері үшін алғысын білдіреді.

Автор шетелдік ғылыми кеңесшілері - физика-математика ғылымдарының докторы, РФА СБ Новосибирск мемлекеттік университетінің профессоры, Новосибирск мемлекеттік университетінің профессоры Карчевский Андрей Леонидовичке, PhD докторы, City University London профессоры, программалық камсыздандудың сенімділік орталығының инновациялар бойынша директоры Попов Петерге пайдалы кеңестері, баға жетпес ескертпелері үшін алғысын білдіреді.

1 ҚАТТЫ ДЕНЕЛЕРДЕ СТАЦИОНАРЛЫ ЕМЕС ТОЛҚЫНДАРДЫҢ ТАРАЛУ ЕСЕБІН ШЕШУГЕ АРНАЛҒАН АҚПАРАТТЫҚ ЖҮЙЕСІНІҢ СИПАТТАМАСЫ

Аталған бөлім есептің қойылымымен танысуға, сондай-ақ, ақпараттық жүйе туралы түсінік алуға, құрылған ақпараттық жүйенің пәндік облысын қарастыруға арналған.

Сонымен қатар, бұл бөлемде қатты денелерде стационарлы емес толқындардың таралу есебін шешуге арналған ақпараттық жүйесінің архитектурасы мен концептуалды моделі келтірілген.

1.1 Ақпараттық жүйенің архитектурасы мен концептуалды моделі

Ақпараттық жүйе түсінігіне әр түрлі анықтамалар беріліп жатады.

Keң мағынада, ақпараттық жүйе дегеніміз техникалық, программалық және ұйымдастырушылық қамсыздандырулардың, сонымен қатар, тиісті адамдарды қажетті ақпаратпен уақытылы қамтамасыз етуге арналған персоналдың жиынтығы [75].

ҚР-ның «Ақпараттандыру туралы» Заңы ақпараттық жүйеге мынадай анықтама береді: «Ақпараттық жүйе – ақпараттық-коммуникациялық технологиялардың, қызмет көрсету персоналының және ақпараттық өзара әсерлесу арқылы нақты бір технологиялық әрекеттерді жүзеге асыратын және нақты функциялық есептерді шешуге арналған техникалық құжаттаманың ұйымдастырылған түрде реттелген жиынтығы» [76].

ҚР СТ 34.005-2002 қазақстандық стандарты ақпараттық жүйені былайша түсіндіреді: «Сәйкес адамдық, техникалық және қаржылық ресурстар сияқты, ұйымдастырушылық ресурстарымен бірге ақпаратты ұсынатын және тарататын ақпаратты өңдеу жүйелері» [77].

Ақпараттық жүйе архитектурасы. Ақпараттық жүйе архитектурасы дегеніміз ақпараттық жүйенің моделін, құрылымын, орындалатын

функцияларын және құраушылардың өзара байланысын анықтайтын концепция.

Қатты денелерде стационарлы емес толқындардың таралу есебін шешуге арналған ақпараттық жүйенің архитектурасы төмендегідей болады (1-сурет):



Сурет 1 – Қатты денелерде стационарлы емес толқындардың таралу есебін шешуге арналған ақпараттық жүйенің архитектурасы

Қосымшалар деңгейінің болуы аталған ақпараттық жүйені мәселелі-бағытталған жүйе етеді. Ақпараттық жүйенің қосымшалар деңгейінде екі программалық құраушылары құрылды:

- Кеңістіктік координаталар бойынша бөлшектеу әдісі идеясы бар бисипаттама тәсілінің негізінде сандық есептеуге арналған құраушы;
- Деформацияланатын біртекті қатты денеде таралатын, стационарлы емес толқындардың жылдамдықтар мен кернеулерін және жылдамдықтар өрістерін визуализациялауға арналған құраушы.

Аталған архитектура бойынша ақпараттық жүйені жобалау үдерісі жүйенің концептуалды моделін құруды қамтиды.

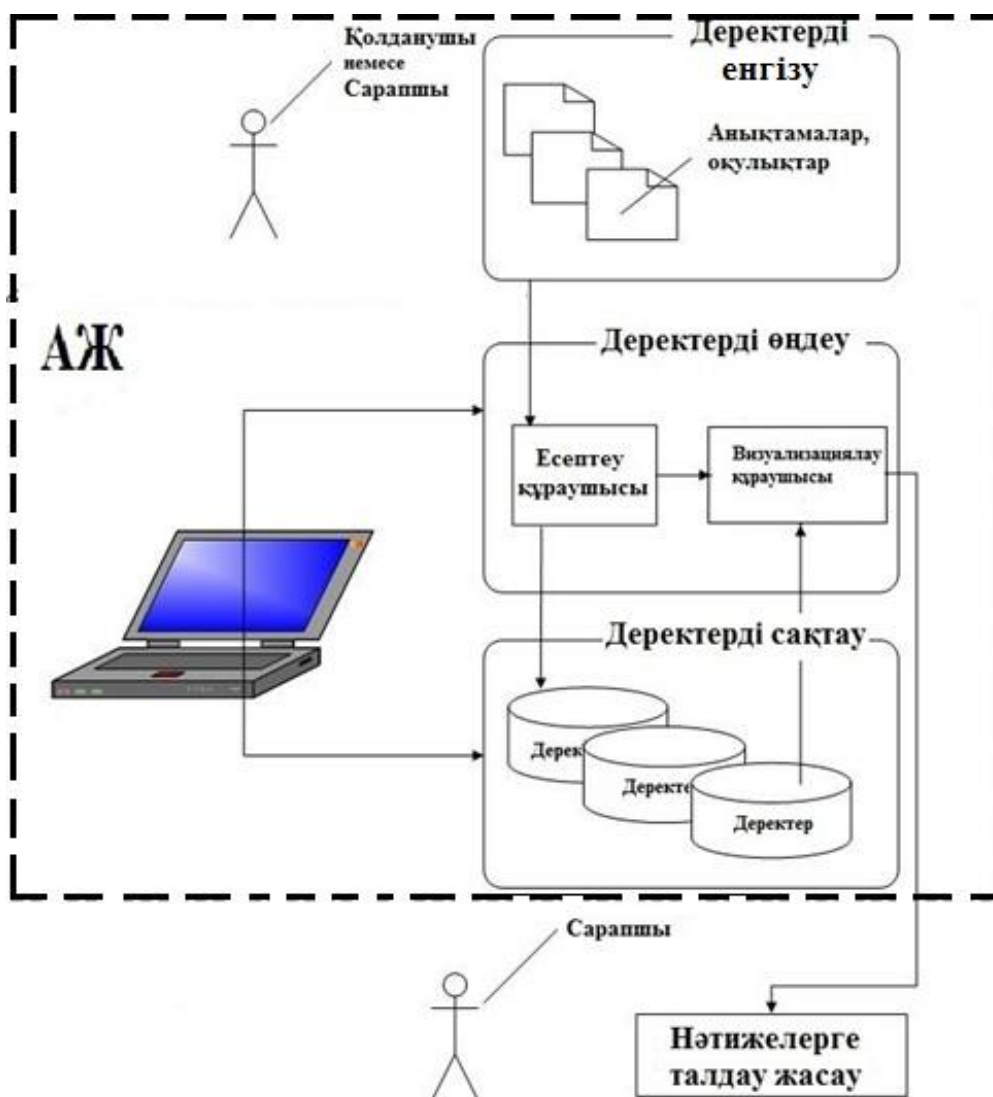
Ақпараттық жүйенің концептуалды моделі. Жүйенің концептуалды моделі деректер қорының сұлбасынан кеңірек болып келеді. Себебі, ол ақпараттық жүйенің тек қана объектілік құрылымын ғана емес, сонымен қатар, осы модель негізінде өтіп жататын үдерістер жүйесін де сипаттайды.

Жүйенің концептуалды моделі көбінесе құрылатын ақпараттық жүйемен тікелей байланыспайтын CASE-жүйелердің көмегімен жүзеге асады, ал программалық қамсыздануды өзгерту кезінде ақпараттық жүйенің алдын ала жобалануы қажет.

Қосымшалар деңгейін жүзеге асыру әр түрлі технологиялардың көмегімен орындалуы мүмкін, бірақ ол ақпараттық жүйенің архитектурасына түбегейлі әсер етпейді [78,79].

Заманауи ақпараттық жүйелерді құру ақпараттық жүйенің жобалануын қажет етеді, ал ақпараттық жүйенің концептуалды моделі құрылатын ақпараттық жүйемен сүйемелденбейді, бір рет құрылған жеке объект (құжат, диаграмма, және т.б.) ретінде болады [80].

Қатты денелерде стационарлы емес толқындардың таралу есебін шешуге арналған ақпараттық жүйе төмендегі концептуалды модель негізінде жұмыс жасайды (2- сурет).



Сурет 2 – Қатты денелерде стационарлы емес толқындардың таралу есебін шешуге арналған ақпараттық жүйенің концептуалды моделі

1.2 Ақпараттық жүйенің пәндік облысы

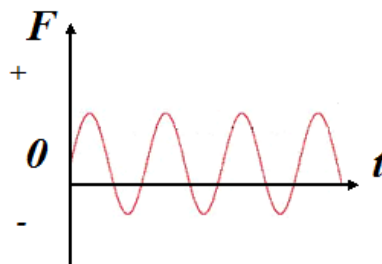
Кез келген ақпараттық жүйе белгілі бір мақсатпен, қандай да бір үдерісті автоматтандыру үшін арнайы құрылады. Басқаша айтатын болсақ, әрбір ақпараттық жүйенің өзінің пәндік облысы болады, яғни, ақпараттық жүйенің модельдейтін нақты әлімнің қандай да бір бөлігі.

Практикалық тұрғыдан алып қарасақ та, ғылыми-зерттеу тұрғысынан алып қарайтын болсақ та, бірден бір қызығушылық тудыратын есептер практикалық сипатқа ие қолданбалы инженерлік есептер болып табылады. Сол себептен құрылатын ақпараттық жүйенің пәндік облысы ретінде осындай инженерлік есептердің бір түрі, деформацияланатын қатты денеде таралатын стационар емес толқындардың таралу есебі таңдалынды.

Деформацияланатын қатты денеде таралатын стационар емес толқындардың таралу есебі. Динамикалық жүктеме деп уақыт бойынша мәні, бағыты немесе жүктеменің түсу нүктесі үнемі өзгеріп тұратын және конструкция элементтерінде үлкен инерция күштерін тудыратын жүктемені айтады. Динамикалық жүктеме тез өсетін күштердің әсерінен немесе зерттелетін дененің үдемелі қозғалысы кезінде туындайды. Осы жағдайлардың барлығында инерция күшін және пайда болатын жүйе массасының қозғалысын есепке алу қажет. Динамикалық жүктемелер ұзақ емес уақытта әсер етеді. Олардың пайда болуы көп жағдайда үдеулер мен инерция күштерінің болуымен байланысты. Динамикалық жүктеме соғу әрекетін орындайтын машинаның детальдарында болады, мысалы, престерде, балғаларда, және т.с.с.

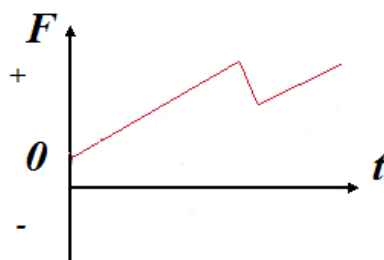
Динамикалық жүктемелердің мынадай түрлері болады:

– Бірқалыпты өзгертін жүктеме: бағыт пен мәні үнемі өзгеріп тұрады (3-сурет);



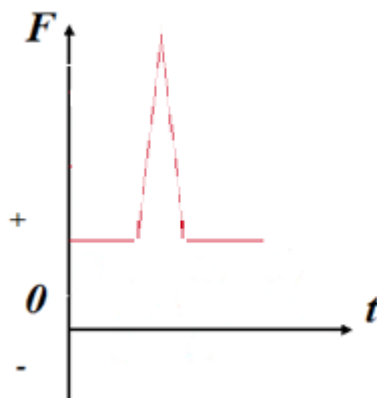
Сурет 3 - Бірқалыпты өзгертін жүктеме

- Пульсті жүктеме: бағыт пен мәні тұрақсыз өзгеріп тұрады (4-сурет);



Сурет 4 - Пульсті жүктеме

- Соғу жүктемесі: бағыт пен мәні эпизодты түрде өзгеріп тұрады (5-сурет).



Сурет 5 - Соғу жүктемесі

Соққы динамикалық жүктеме түріне жатқанымен, кейбір жағдайларда соғуды есептегенде инерция күштерін есепке алмайды [2].

Динамикалық жүктемелер кезінде қатты денеде серпімді толқындар пайда болады.

Серпімді толқындар дегеніміз қатты, сұйық және газ тәріздес орталарда таралатын серпімді ауытқулар, мысалы, жер сілкінісі кезінде жер қабығында пайда болатын толқындар, сұйықтықтардағы, газдардағы және қатты денелердегі дыбыстар мен ультрадыбыстардың толқындары.

Ортада серпімді толқындардың таралуы кезінде ортаның бір нүктесінде сығылу мен ығысудың механикалық деформациясы пайда болады. Сонымен қатар, бұл кезде заттың ағыны болмаған жағдайда (ерекше жағдайларды ескермегенде, мысалы, акустикалық ағындар) серпімді деформация энергиясы тасымалданады. Кез келген гармониялық серпімді толқын орта бөлшектерінің тербелмелі ығысуының амплитудасымен және оның бағытымен, айнымалы механикалық кернеу және оның деформациясымен (жалпы жағдайда олар тензорлық шамалар болады), орта бөлшектерінің тербеліс жиілігімен, толқын ұзындығымен, фазалық және топтық жылдамдықтарымен, сонымен қатар, толқынның фронты бойынша ығысулар мен кернеулердің таралу заңымен сипатталады.

Біртекті изотропты шексіз созылған қатты денеде серпімді толқындардың тек екі түрі болады – бойлық және ығысушы. Бойлық серпімді толқындарда бөлшектердің қозғалысы толқындардың таралу бағытына параллель болады, ал деформация барлық жақты сығылу (созылу) және таза ығысудың комбинациясы түрінде болады. Ығысу толқындары кезінде бөлшектердің

қозғалысы толқынның таралу бағытына перпендикуляр, ал деформация ығысудың бір бөлігі болып табылады. Шексіз ортада бойлық және ығысушы толқындардың үш түрі болады - жазық, сфералық және цилиндрлік. Олардың өзгешелігі – фазалық және топтық жылдамдықтардың толқын амплитудасы мен геометриясына байланысты болмауы [81].

Серпімділік теориясының динамикалық есебіндегі анықтауыш теңдеулер. Серпімділік теориясы - қатты денеде физикалық әсерлерден туындаған деформацияны және тыныштық күйінде, сонымен қатар, қозғалыс кезінде пайда болатын ішкі күштерді зерттейтін механика бөлімі.

Ғылымның заманауи күйі нақты денелердің құрылуының барлық өзгешеліктерін есепке ала отырып, есептеудің жалпы тәсілдерін құруға мүмкіндік бермейді. Сондықтан серпімділіктің сызықты теориясы деформацияланатын қатты дененің қандай да бір моделіне негізделген шешімдер шығарады. Осындай модель ретінде идеалды серпімді дене алынады. Осындай модельдің негізгі қасиеттерін қарастырып көрейік.

Идеалды серпімді дене толығымен серпімді болады. Толығымен серпімділік дегеніміз - сыртқы физикалық әсерлер алынып тасталған кезде бастапқы өзінің қалпына және көлеміне толығымен қайтіп келетін қатты дененің қасиеті. Бастапқы күй дегеніміз - жүктемелер түсірілмеген жағдайда денеде ешқандай кернеулер пайда болмайтын күй. Шынайы күй туралы пайымдау бастапқы кернеулерді және сипатты қарастырмайды, себебі олардың мәндері белгісіз және дененің шығу тарихына байланысты болады.

Серпімділіктің сызықты теориясында дененің деформациялары жеткілікті түрде аз, ал дененің деформацияланған және кернеулі күйлерін байланыстыратын қатынастары сызықты болады.

Идеал серпімді дене тұтас, яғни, деформациялануға дейін үзіліссіз, сол сияқты деформацияланудан кейін де үзіліссіз болып қалады. Дененің кез келген көлемінде, микрокөлемдерді қоса есептегенде, бос кеңістік пен саңылаулар болмайды. Бұл деформацияны және дененің нүктелерінің орын ауыстыруын координаттардың үзіліссіз функциялары ретінде қарастыруға мүмкіндік береді. Осылайша, заттың атомистикалық құрылымы және денені құрайтын молекулалардың қозғалысы есепке алынбайды.

Идеал серпімді дене біртекті болып есептелінеді. Ал бұл дененің әрбір нүктелерінде бірдей кернеулер жағдайында бірдей деформациялар пайда болатындығын білдіреді. Біртектілік туралы пайымдау дененің серпімділігін сипаттайтын шамалардың барлығын дененің бүкіл көлемі бойынша тұрақты деп санауға мүмкіндік береді.

Идеал серпімді дене изотропты болып саналады. Ал бұл дененің серпімділік қасиеттері барлық бағыттар бойынша біркелкі болатыны білдіреді.

Нақты денелер қарастырылып отырған модельден белгілі бір деңгейде өзгешелеу болады. Сондықтан серпімділік теориясында нақты денелер үшін алынатын шешімдердің тиімділігін бұл денелерді қаншалықты толығымен серпімді, тұтас, біртекті және изотропты деп есептеуге болатынына байланысты.

Қатты денеге әсер ететін сыртқы күштерді екі топқа бөлуге болады: беттік және көлемдік. Беттік күштер денелердің бір-бірімен байланысы кезінде пайда болады. Олар дененің беті бойынша таратылады, мысалы, бөгетке әсер ететін судың қысым күші, жерге ғимараттардың іргетасының түсіретін қысым күштері және т.б. Беттік күштер қарқындылығымен сипатталады, яғни, осы күштің таралған бет ауданының бір бірлігіне келетін күштің мәнімен сипатталады. Егер күштің әсер ететін ауданының өлшемі дененің өлшемдерімен салыстырғанда өте аз болса, онда мұндай ауданды есепке алмауға болады және күшті бір нүктеге түсірілген деп есептеуге болады. Мұндай күшті шоғырланған деп атайды.

Көлемдік күштер дененің әрбір нүктесіне әсер етеді. Оларға дене массасы, инерция күші жатады [82].

Сызықты серпімділік теориясының негізгі теңдеулері. Динамикалық серпімділік теориясының есебінің мәні берілген сыртқы күштік факторлар және белгілі геометриялық қалыптағы дене материалының физика-механикалық қасиеттері бойынша уақыттың әрбір моментінде кернеулі-деформацияланған күйдің сипаттамаларын және дененің деформациялау үдерісі кезіндегі дене бөлшектерінің қозғалысын анықтау болып табылады.

Зерттеудегі пән ретінде декарттық координаттар жүйесіндегі біртекті серпімді изотропты дене динамикасының есебі алынады. Мазмұндауға ыңғайлы болу үшін төмендегідей белгілеулер енгізіледі:

$x_i (i = 1, 2, 3)$ - декарттық координаттар жүйесі;

t - уақыт;

$\sigma_{ij} = \sigma_{ij}(x_1, x_2, x_3, t)$ – кернеу тензорының құраушысы;

$\varepsilon_{ij} = \varepsilon_{ij}(x_1, x_2, x_3, t)$ - деформация тензорының құраушысы;

$U_i = U_i(x_1, x_2, x_3, t)$ – орын ауыстыру векторының құраушысы;

$(i, j = 1, 2, 3)$.

Осында және одан әрі латын және грек индекстері қолданылады. Екі рет қайталанған грек индекстері бойынша қосынды бар, ал екі рет қайталанатын латын индекстері бойынша қосынды жоқ.

Орта қозғалысының дифференциал теңдеулерін механиканың негізгі екі заңынан алуға болады: төмендегідей түрге ие болатын қозғалыс мөлшерінің өзгеру заңы және қозғалыс мөлшері моментінің өзгеру заңдарынан:

$$\sigma_{i\beta,\beta} + F_i = \rho \frac{\partial^2 U_i}{\partial t^2}, \quad \sigma_{ij} = \sigma_{ji}, \quad (i = 1, 2, 3), \quad (1)$$

мұндағы ρ - орта материалының тығыздығы, F_i – сәйкес координат осьтеріне түсірілген көлемдік күш проекциялары. Осында және болашақта үтірден кейінгі төменгі индекстермен сәйкес кеңістіктік айнымалылар бойынша туындылар, ал β қайталанатын индекс бойынша қосындыны жүзеге асыруға болады, яғни, (1) былайша түсіну қажет:

$$\begin{cases} \sigma_{11,1} + \sigma_{12,2} + \sigma_{13,3} + F_1 = \rho \frac{\partial^2 U_1}{\partial t^2} \\ \sigma_{21,1} + \sigma_{22,2} + \sigma_{23,3} + F_2 = \rho \frac{\partial^2 U_2}{\partial t^2} \\ \sigma_{31,1} + \sigma_{32,2} + \sigma_{33,3} + F_3 = \rho \frac{\partial^2 U_3}{\partial t^2} \\ \sigma_{12} = \sigma_{21} \quad \sigma_{13} = \sigma_{31} \quad \sigma_{23} = \sigma_{32} \end{cases} \quad (1')$$

Классикалық серпімділік теориясында деформациялар соншалықты кіші болғандықтан, оларды шексіз кіші деп пайымдауға негізделген. Сәйкес орын ауыстыру векторлары деформацияланған денелердің әрбір өлшемімен салыстырғанда кіші, ал координаттар бойынша орын ауыстырудың бірінші туындылары бірлікпен салыстырғанда аз деп саналынады.

Көрсетілген пайымдауларды пайдалана отырып, ε_{ij} аз деформациялардың тензор құраушысын Коши қатынастарымен орын ауыстыру векторы құраушылары арқылы анықтайды:

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2}(U_{ij} + U_{ji}), \quad (i, j = 1, 2, 3) \quad (2)$$

Кернеу тензоры құраушылары мен деформация тензоры құраушылары арасындағы сызықты қатынас төмендегідей формуламен өрнектеледі:

$$\sigma_{ij} = \lambda \theta \delta_{ij} + 2\mu \varepsilon_{ij} \quad (3)$$

мұндағы λ , μ - Ламе тұрақтылары, δ_{ij} - Кронекер символы, θ - көлемдік деформация, ол $\theta = \varepsilon_{11} + \varepsilon_{22} + \varepsilon_{33}$ -ға тең.

Бұл формулалар әдетте Гук заңының кері формуласы деп аталады.

Серпімділіктің динамикалық теориясы есептерін шешу кезінде бастапқы және шекаралық шарттарды құру керек.

Егер орта шексіз болса, онда тек қана бастапқы шарттар беріледі. Бұл шарттар U_i^0 орын ауыстыру векторының проекциясынан және есепті зерттеу басталатын, қандай да бір белгілі t_0 уақыт моментіндегі v_i^0 жылдамдық векторының проекциясынан құралады:

$$\begin{aligned} U_i \Big|_{t=t_0} &= U_i^0(x_1, x_2, x_3) \\ \frac{\partial U_i}{\partial t} \Big|_{t=t_0} &= v_i^0(x_1, x_2, x_3) \end{aligned} \quad (i = 1, 2, 3) \quad (4)$$

(4) бастапқы берілгендер жағдайында (1)-(3) теңдеулерінің шешімі Коши есебі деп аталады [82].

Коши есебін шешуден қарағанда шеттік есептерді шешу көбірек тәжірибелік қызығушылық тудырады, яғни, шеттік өлшемдері бар денелер және осындай серпімді орталар үшін (4) бастапқы шарттармен қоса, қандай да бір шекаралық шарттарды құру қажет. Серпімділік теориясының шеттік есептерін шешу кезінде негізгі үш шеттік есептер кездеседі.

Бірінші негізгі шеттік есебі дененің алатын V облысын, U_i орын ауыстыру векторының үш проекциясын және σ_{ij} кернеу тензорының алты құраушыларын табудан құралады. σ_{ij} кернеу тензорының алты құраушылары дене ішінде (1) - (3) теңдеулерін және S дене бетіндегі кинематикалық шекаралық шарттарды қанағаттандыруы қажет:

$$U_i = f_i(x_1, x_2, x_3, t) \quad (5)$$

Екінші негізгі шеттік есебі дененің алатын V облысын, U_i орын ауыстыру векторының үш проекциясын және σ_{ij} кернеу тензорының алты құраушыларын табудан құралады. σ_{ij} кернеу тензорының алты құраушылары дене ішінде (1) - (3) теңдеулерін және S дене бетіндегі кинематикалық шекаралық шарттарды қанағаттандыруы қажет:

$$\sigma_{ij} \bar{n}_i = p_j(x_1, x_2, x_3, t) \quad (6)$$

мұндағы P_j - S дене бетіне әсер ететін берілген күштердің проекциялары, n_i - сыртқы нормаль.

Үшінші негізгі (аралас) шеттік есеп (1) - (3) теңдеулерін шешуден тұрады. Бұл шешім S бетінің S_u бір бөлігінде (5) кинематикалық шарттарын, ал S_σ екінші бөлігінде (6) шартын қанағаттандырады. ($S = S_u + S_\sigma$).

Үшөлшемді денелердің жалпы жағдайына арналған динамикалық есепті шешу кезінде математикалық қиындықтар туындайды. Бұл жайт көптеген жағдайларда жазық есептердің кең көлемін шешу нәтижелерімен ғана шектелуге алып келеді. Серпімді денелердің деформациялануының дербес жағдайлары қарастырылады.

Егер серпімді дене (x_1, x_2) жазықтығында жазық деформация шарттарында болса, онда

$$U_1 = U_1(x_1, x_2, t); U_2 = U_2(x_1, x_2, t); U_3 = 0 \quad (7)$$

Онда (2) қатынасы деформация тензоры құраушылары үшін мынадай түрге ие болады:

$$\begin{cases} \varepsilon_{11} = U_{11} \\ \varepsilon_{22} = U_{22} \\ \varepsilon_{12} = \varepsilon_{21} = \frac{1}{2}(U_{1,2} + U_{2,1}) \\ \varepsilon_{13} = \varepsilon_{31} = \varepsilon_{23} = \varepsilon_{32} = \varepsilon_{33} = 0 \end{cases} \quad (8)$$

(3) теңдеуі мынадай түрге ие болады:

$$\begin{cases} \sigma_{11} = \lambda (\varepsilon_{11} + \varepsilon_{22}) + 2\mu \varepsilon_{11} \\ \sigma_{22} = \lambda (\varepsilon_{11} + \varepsilon_{22}) + 2\mu \varepsilon_{22} \\ \sigma_{12} = \sigma_{21} = 2\mu \varepsilon_{12} \\ \sigma_{33} = \lambda (\varepsilon_{11} + \varepsilon_{22}) \\ \sigma_{13} = \sigma_{31} = \sigma_{23} = \sigma_{32} = 0 \end{cases} \quad (9)$$

Сондықтан да, жазық деформация кезінде кернеулер тензоры жалпы жағдайда x_1, x_2 екі аргументіне тәуелді, нөлден өзгеше төрт құраушыдан тұрады. σ_{33} құраушысының бар болуына байланысты жазық деформация күйі қамтамасыз етіледі. Дененің жазық деформациясы кезінде кернеулер тензорының тәуелсіз құраушыларының саны үшке тең екендігін оңай көрсетуге болады. Негізінде, σ_{33} төртінші құраушысы мынадай өрнек бойынша анықталады:

$$\sigma_{33} = \nu(\sigma_{11} + \sigma_{22}) \quad (10)$$

Және есепті шығарғаннан кейін де анықталуы мүмкін. Мұндағы $\nu = \frac{\lambda}{2(\lambda + \mu)}$ - Пуассон коэффициенті.

(1) қозғалыс теңдеуі көлемдік күштер болмаған жағдайда мынадай түрде жазылады:

$$\begin{cases} \sigma_{11,1} + \sigma_{12,2} = \rho \frac{\partial^2 U_1}{\partial t^2} \\ \sigma_{21,1} + \sigma_{22,2} = \rho \frac{\partial^2 U_2}{\partial t^2} \\ \sigma_{21} = \sigma_{12} \end{cases} \quad (11)$$

Материалды сипаттайтын тұрақтылардың негізгі жұбы ретінде c_1 бойлық және c_2 көлденең толқындардың тұтас ортада таралу жылдамдықтарының мәндері қолданыла алады:

$$c_1 = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}}; c_2 = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \quad (12)$$

Жалпыланған жазық кернеулі күй жағдайында ($\sigma_{33} = \sigma_{13} = \sigma_{23} = 0$) (1.3) өрнегінен мынаны алуға болады:

$$\lambda \varepsilon_{11} + \lambda \varepsilon_{22} + (\lambda + 2\mu) \varepsilon_{33} = 0; \quad \varepsilon_{33} = -\frac{\lambda}{\lambda + 2\mu} (\varepsilon_{11} + \varepsilon_{22})$$

ε_{33} мәнін (3)-тің басқа қатынастарына қою арқылы, ала аламыз:

$$\begin{cases} \sigma_{11} = \lambda' (\varepsilon_{11} + \varepsilon_{22}) + 2\mu' \varepsilon_{11} \\ \sigma_{22} = \lambda' (\varepsilon_{11} + \varepsilon_{22}) + 2\mu' \varepsilon_{22} \\ \sigma_{12} = \sigma_{21} = 2\mu' \varepsilon_{12} \end{cases} \quad (13)$$

мұндағы $\lambda' = \frac{2\lambda\mu}{\lambda + 2\mu}; \mu' = \mu$

Осыдан жазық деформация теңдеуінен жалпыланған жазық кернеудің теңдеулеріне көшу λ Ламе және μ тұрақтыларын мынадай шамалармен алмастыру арқылы:

$$\lambda' = \frac{2\lambda\mu}{\lambda + 2\mu}; \mu' = \mu$$

және (8), (9) және (11) теңдеулерін шешу арқылы орындалады.

Сонымен қатар, бұл жағдайда ε_{33} деформация тензорының құраушысы мына түрде анықталады [1]:

$$\varepsilon_{33} = -\frac{\nu}{E} (\sigma_{11} + \sigma_{22}) \quad (14)$$

мұндағы $E = \frac{\mu(3\lambda + 2\mu)}{\lambda + \mu}$ - серпімділік модулі.

Келесі параграфтарда негізінен шектеулі денелер үшін жазық толқындық есептердің (8)-(11) сандық шешімін құруға баса назар аударылады.

Есептің қойылымы. Аталған диссертацияның негізгі мақсаты – инженерлік есептердің белгілі бір есептер класын шешуге арналған ақпараттық жүйені құру.

Құрылатын ақпараттық жүйе қолданушыларға төмендегідей мүмкіндіктер беруі қажет:

– Берілген есептің сандық шешімін алу;

- Шығарылатын есептің сандық шешімдерін орталықтандырылған түрде деректер қорында сақтау;

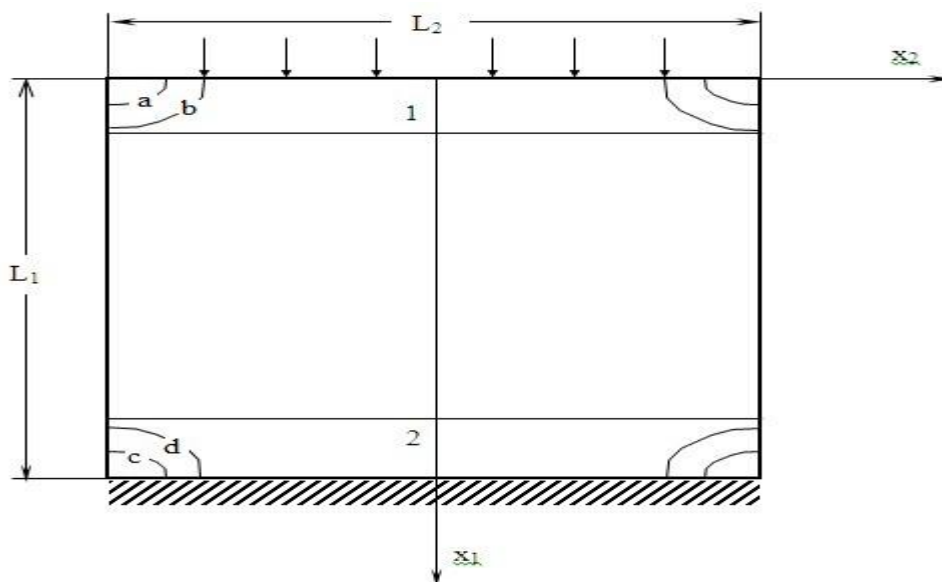
- Ақпараттық жүйедегі деректерге жылдам қол жеткізу;

- Есептің сандық шешімінің автоматтандырылған визуализациясын алу.

Құрылатын ақпараттық жүйенің көмегімен шығарылатын есептердің класы ретінде динамикалық жүктеме салдарынан деформацияланатын қатты денеде пайда болатын стационар емес толқындардың таралу есебі таңдалынды.

Құрылатын ақпараттық жүйенің көмегімен сандық шешімін алуға және осы сандық шешімді визуализациялауға болатын инженерлік есептердің бірін қарастырайық.

Айталық жазық қимасы тіктөртбұрыш $0 \leq x \leq L_1$, $|x_2| \leq L_2/2$ болып табылатын изотропты біртекті серпімді дене қарастырылсын. Мұндағы 1 – таралатын толқынның алдыңғы фронты, 2 – шағылысқан толқынның алдыңғы фронты, b және d облыстары бойлық толқындардың фронттары, a және c облыстары көлденең толқындардың фронттарын білдіреді (6-сурет).



Сурет 6 - Есептеу облысы

Ортаның орын ауыстыруы қозғалыс теңдеуін қанағаттандырады:

$$\sigma_{i\beta,\beta} + F_i = \rho \dot{v}_i \quad i=1,2 \quad (15)$$

Мұндағы \dot{v}_i – v жылдамдық векторы құраушылары; F_i – сәйкес координат осьтеріне түсірілген көлемдік күш проекциялары. Кернеу тензоры құраушылары σ_{ij} мен орын ауыстыру векторы құраушыларының u_i ($v_i = \dot{u}_i$) арасындағы байланыс Гука заңымен сипатталады:

$$\sigma_{ij} = \lambda u_{\beta,\beta} \delta_{ij} + \mu(u_{i,j} + u_{j,i}), \quad i, j = 1, 2, \quad (16)$$

мұндағы δ_{ij} - Кронекер символы.

Бастапқы уақыт моментінде дене тыныштық калпында болады деп есептейміз, яғни, $t=0$ жағдайында

$$v_i=0, \quad \sigma_{ij}=0 \quad (i,j=1,2) \quad (17)$$

Шекаралық шарттар: t уақыт моментінде тіктөртбұрыштың үстіңгі шекарасына динамикалық жүктеме түсіріледі, яғни, $x_1=0, |x_2| \leq L_2$

$$\sigma_{11}=f(t), \quad \sigma_{12}=0, \quad (18)$$

дененің жақтарындағы шекараларда ешқандай да кернеу жоқ, яғни, $|x_2|=L_2/2, 0 \leq x_1 \leq L_1$ жағдайында

$$\sigma_{12}=0, \quad \sigma_{22}=0, \quad (19)$$

төменгі шекарасы қатты бекітілген, яғни, $x_1=L_1, |x_2| \leq L_2/2$ жағдайында

$$v_1=0, \quad v_2=0 \quad (20)$$

Денеді еркін беттер бар болғандықтан, уақыт өте келе бірінің үстіне бірі қабаптасатын шағылысу толқындары жылдамдықтар өрістерінің, орын ауыстырулардың, деформациялардың және кернеулердің күрделі болмысын анықтайды.

6-суретте дене нүктелеріндегі кернеулерді анықтайтын толқындар көрсетілген. Алдыңғы фронты l сызығы болатын a қоздырылған облыс уақыт бойынша өзгеретін $f(t)$ берілген жүктемесімен анықталады. Жолақтың бұрыштық нүктелері бойлық толқындарды да (c және e облыстары), сол сияқты көлденең толқындарды да (b және d облыстары) тудыратын қоздыру көздері болып табылады. Бекітілген беттен шағылысқан толқын таралады, оның алдыңғы фронты 2 сызығымен белгіленеді.

Аталған есеп бисипаттама әдісімен шешілген [31-34, 40,41]

(17-18) бастапқы-шекаралық шарттар алдыңғы уақытта ұсынылып отырған ақпараттық жүйеде жалпыланған түрде алынуы мүмкін екендігін ескеру қажет.

Аталған нақты мысал негізінде құрылған ақпараттық жүйенің жұмысын көрнекі түрде көрсетейік.

1.3 Ақпараттық жүйенің негізгі құраушылары

Барлық ақпараттық жүйелер бірдей құраушылардан тұрады: функционалды құраушылар, деректерді өңдеу жүйелерінің құраушылары және ұйымдастырушылық құраушылар (персонал).

Кез келген ақпараттық жүйені ішкі жүйелердің жиынтығы ретінде қарастыруға болады: техникалық, математикалық, программалық, ақпараттық, ұйымдастырушылық және лингвистикалық қамсызданулар.

Қарастыру аспектісіне байланысты ақпараттық жүйенің құрылымы әр түрлі сипатталады. Ақпараттық жүйеде қамтамасыз етуші және функционалды ішкі жүйелерді ерекшелеу неғұрлым жалпылама болып табылады.

Функционалды ішкі жүйе бір немесе бірнеше өзара байланысқан функцияларды жүзеге асыратын ішкі жүйе.

Қамтамасыз етуші ішкі жүйелер - ақпаратты түрлендіру үшін қолдану саласынан тәуелсіз құралдарды қолданатын орта.

Функционалды белгісі ішкі жүйенің міндетін, сонымен қатар, оның негізгі есептерін, мақсаттарын және функцияларын анықтайды. Функционалды ішкі жүйелер басқарушы ақпараттың модельдерін, тәсілдерін және оны алу алгоритмдерін жүзеге асырады және сүйемелдейді. Функционалды ішкі жүйелердің құрамы біршама әр түрлі және ақпараттық жүйені қолдану облысына, объектінің шаруашылық қызметінің ерекшелігіне, басқаруға тәуелді.

Қамтамасыз етуші ішкі жүйелерге төмендегілер кіре алады:

1. Ақпараттық қамсыздандыру – құрамында топтастыру жүйелері және ақпаратты кодтау, бірінғай құжат жүйелері, ақпараттық ағындардың сұлбалары, деректер қорын құрудың принциптері мен тәсілдері бар жүйенің ақпараттық қорын құру тәсілдері мен құралдары.

2. Техникалық қамсыздану – жүйедегі ақпаратты түрлендірудің технологиялық үдерісіне қатысатын техникалық құралдардың кешені. Ең алдымен, ол есептеу машиналары, жанама құрылғылар, аппаратура және мәліметтерді тасымалдау каналдары;

3. Программалық қамсыздану – функционалды есептерді шығаруға қажетті, тұрақты пайдалануға арналған программалар мен қолданушылар жұмысын жеңілдететін есептеу техникасын неғұрлым тиімді пайдалануға мүмкіндік беретін программалар жиынтығы.

4. Математикалық қамсыздану – жүйеде қолданылатын математикалық тәсілдердің, модельдердің және ақпаратты өңдеу алгоритмдерінің жиынтығы.

5. Лингвистикалық қамсыздану — жүйені құру сапасын ұлғайту және адамның машинамен тілдесуін оңайлату мақсатында қолданылатын жүйедегі тілдік құралдардың жиынтығы.

6. Ұйымдастырушылық қамсыздану – жүйемен жұмыс жасайтын персоналдың жұмысын тиімді етуге бағытталған кешен [83].

Басқа ақпараттық жүйелер сияқты құрылған ақпараттық жүйе мынадай ішкі жүйелерден тұрады (7-сурет):



Сурет 7 - Қатты денелерде стационарлы емес толқындардың таралу есебін шешуге және визуализациялауға арналған ақпараттық жүйенің құрамы

7-суреттен көрінгендей, құрылған ақпараттық жүйе мынадай ішкі жүйелерден тұрады: ақпараттық қамсыздану, математикалық қамсыздану, техникалық қамсыздану, лингвистикалық қамсыздану, программалық қамсыздану, ұйымдастырушылық қамсыздану.

Қатты денелерде стационарлы емес толқындардың таралу есебін шешуге және визуализациялауға арналған ақпараттық жүйенің әрбір ішкі жүйесінің құрылымын толығырақ қарастырайық:

1. Ақпараттық қамсыздану ішкі жүйесінің құрамына:

- Аталған ақпараттық жүйенің айналымындағы ақпараттық ағымды ұйымдастырудың формалары және сұлбалары;
- Анықтамалық көрсеткіштер, олар кіріс мәліметтері ретінде қолданылады;
- Жүйелерді құрудың принциптері мен тәсілдері;
- Ақпараттық жүйенің архитектурасы;
- Ақпараттық жүйенің концептуалды моделі;

– Ақпаратты өңдеу технологиясының сапасын, сенімділігін, сақталуын және уақытында ақпаратқа қол жеткізе алуын қамтамасыз ететін персонал кіреді.

2. Математикалық қамсыздану ішкі жүйесінің құрамына:

- Қойылған есепті математикалық модельдеу;
- Есепті шығарудың математикалық тәсілі;
- Есепті шешуге қолданылатын ақпаратты өңдеу алгоритмі кіреді.

Математикалық қамсызданудың әрбір бөліміне жеке тоқталып өтейік.

Қойылған есепті математикалық модельдеу. Жазық есеп шарттарында аз динамикалық деформацияларды сипаттайтын теңдеулерді жылдамдық векторы және кернеу тензоры құраушыларына қатысты бірінші ретті дербес туындыларындағы сызықты дифференциалды теңдеулердің гиперболалық жүйесі түрінде көрсетуге болады.

Ыңғайлылық үшін тәуелсіз өлшемсіз айнымалылар мен ізделінетін шамалар енгізіледі.

$$\bar{t} = \frac{tc_1}{b}; \quad \bar{x}_i = \frac{x_i}{b}; \quad \bar{v}_i = \frac{1}{c_1} \frac{\partial U_i}{\partial t}; \quad \bar{\sigma}_{ij} = \frac{\sigma_{ij}}{\rho c_1^2};$$

мұндағы $c_1 = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}}$; $c_2 = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$; b – сипаттамалық ұзындық.

Келешекте өлшемсіз параметрлердің үстіндегі сызық алынып тасталынады.

Өлшемсіз шамаларды біріктіргеннен кейін, (11) қозғалыс теңдеуі және (8) мен (9) Гуктың жалпыланған заңындағы қатынастардың уақыт бойынша туындылары төмендегідей түрге ие болады:

$$\begin{cases} a) \dot{v}_1 = \sigma_{11,1} + \sigma_{12,2} \\ b) \dot{v}_2 = \sigma_{21,1} + \sigma_{22,2} \\ c) \dot{\sigma}_{11} = \gamma_{11} v_{1,1} + \gamma_{11} v_{2,2} \\ d) \dot{\sigma}_{22} = \gamma_{11} v_{1,1} + \gamma_{22} v_{2,2} \\ e) \dot{\sigma}_{12} = \gamma_{12} (v_{1,2} + v_{2,1}) \end{cases} \quad (21)$$

Мұнда және келешекте функциялар үстіндегі нүкте функцияның t бойынша дербес туындысын білдіреді [65].

(21) теңдеулердің анықтауыш жүйесін $W = (v_1, v_2, \sigma_{11}, \sigma_{22}, \sigma_{12})$ ізделінетін айнымалылар векторына қатысты матрицалық түрде көрсетуге болады:

$$L(W) = A^t W_{,t} + A^l W_{,l} + A^2 W_{,2} = 0,$$

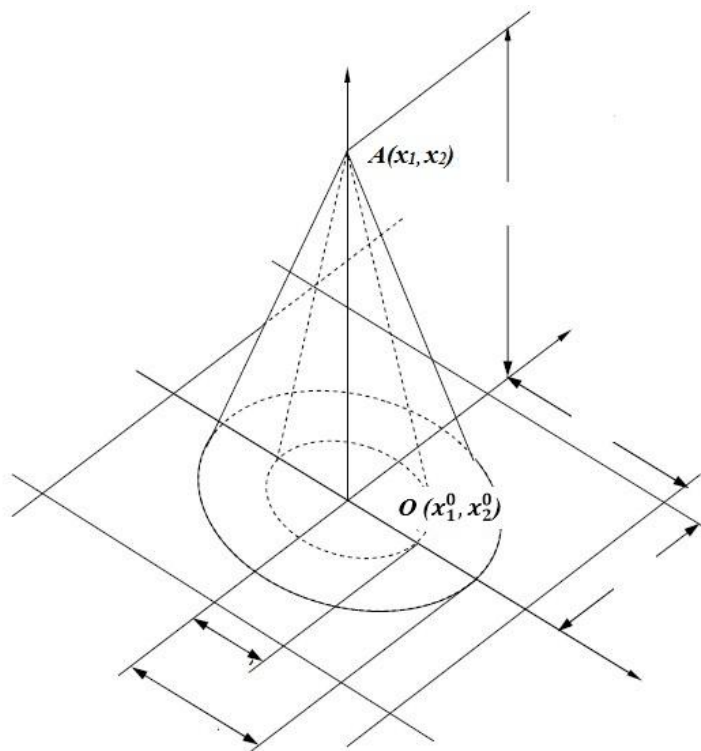
Мұндағы

$$A' = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad A^1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\gamma_{11} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\gamma_{12}^2 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}; \quad A^2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & -\gamma_{11} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ -\gamma_{12}^2 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

(21) анықтауыш теңдеулерін тұрақты коэффициенттері бар бірінші ретті дифференциалды теңдеулердің біртекті сызықты гиперболалық жүйесі түрінде сипаттауға болады.

Есепті шығарудың математикалық тәсілі. Қойылған есепті шығару үшін бөлшектеу әдісі идеясын қолданатын бисипаттама сандық әдісі таңдалып алынды. Осы әдісті толығырақ қарастырайық.

(21) жүйесі (x_1, x_2, t) үшөлшемді кеңістіктегі сипаттамалық беттері осьтері уақыт осьтеріне параллель болатын гиперконус түрінде бейнеленетін гиперболалық типтегі жүйе болып табылады. (21) жүйесінде екі сипаттамалық конустардың әулеті бар (8-сурет). Біздің жағдайымызда осы конустарды құрушылар (21) теңдеулерінің бисипаттамаларымен сәйкес келеді. Бисипаттама деп кез келген екі сипаттамалық беттердің жанасуы болатын сызықты айтады.



Сурет 8 - Сипаттамалық конустар

Осы бисипаттамадардың теңдеулерін және оларға қойылатын шарттарды алу үшін (21) жүйесін бірөлшемді жүйеге бөлшектеуіміз қажет. Егер (21) жүйесінде кеңістіктік айнымалылардың бірін кезекпен фиксирленуге мүмкіндік болса, онда бөлшектеу амалын жүргізуге болады. Бұл тәсіл К.А. Багриновский мен С.К. Годуновтың көпөлшемді t -гиперболалық жүйелерді бірөлшемдіге бөлшектеу идеясына сай келеді [84].

$x_2 = const$ болған кезде:

$$\begin{cases} \dot{v}_1 - \sigma_{11,1} = \sigma_{12,2} \\ \dot{\sigma}_{11} - v_{1,1} = \gamma_{11} v_{2,2} \end{cases} \quad (22)$$

$$\begin{cases} \dot{v}_2 - \sigma_{12,1} = \sigma_{22,2} \\ \dot{\sigma}_{12} - \gamma_{12}^2 v_{2,1} = \gamma_{12}^2 v_{1,2} \end{cases}$$

$x_1 = const$ болған кезде:

$$\begin{cases} \dot{v}_2 - \sigma_{22,2} = \sigma_{21,1} \\ \dot{\sigma}_{22} - v_{2,2} = \gamma_{11} v_{1,1} \end{cases} \quad (23)$$

$$\begin{cases} \dot{v}_1 - \sigma_{12,2} = \sigma_{11,1} \\ \dot{\sigma}_{12} - \gamma_{12}^2 v_{1,2} = \gamma_{12}^2 v_{2,1} \end{cases}$$

(21) жүйесінде $\sigma_{22,1}$ және $\sigma_{11,2}$ туындылары болмағандықтан, $x_2 = const$ жағдайында (22) теңдеуі және $x_1 = const$ жағдайында (23) теңдеуі нөлдік жылдамдықты бисипаттамаға сәйкес келеді, яғни, бисипаттамалар конус осінде туындайды. Осыған орай, бөлшектеу үдерісі кезінде аталған теңдеулер кезегімен (21) теңдеулер тобында қала береді.

Жазбаны оңайлату үшін (22) және (23) теңдеулер жүйелерін біріктіру қажет, сонда олар мынадай түрге келтіріледі:

$$\begin{cases} \dot{v}_i - \sigma_{ij,j} = a_{ij} \\ \dot{\sigma}_{ij} - \lambda_{ij}^2 v_{i,j} = b_{ij} \end{cases} \quad (i, j = 1, 2) \quad (24)$$

мұндағы

$$a_{ij} = \sigma_{ik,k}; \quad \lambda_{ij} = \delta_{ij} + \gamma_{12} (1 - \delta_{ij}); \quad b_{ij} = (\gamma_{11} \delta_{ij} + \gamma_{12}^2 (1 - \delta_{ij})) v_{p,k}$$

Осында және болашақта $i, j, k, p = 1, 2; p \neq i; k \neq j$.

(24) жүйесін матрицалық түрде жазуға:

$$W,_{t} + AW,_{j} = B$$

мұндағы $W_t = (v_i, \sigma_{ij})$; $B = (a_{ij}, b_{ij})$ - векторлар, A - матрица, ал оның анықтаушы: $A = \begin{vmatrix} 0 & -1 \\ -\lambda_{ij}^2 & 0 \end{vmatrix}$ -ға тең болады.

A матрицасының χ_{ij} өзіндік мәні $\det(A - \chi_{ij}E) = 0$ (E - бірлік матрицасы) теңдеуінен анықталады және нақты, әрі әр түрлі болып келеді, яғни, $\chi_{ij} = \lambda_{ij}$. Сондықтан (24) теңдеулер жүйесі гиперболалық болып табылады, әрі екі нақты сипаттамаларға ие болады.

Сипаттамалардың дифференциалды теңдеулері мен оларға қойылатын шарттар ізделінеді. Бисипаттама бойындағы дифференциал операторлар төмендегідей түрде болады:

$$\frac{d(W)}{dt} = \frac{\partial W}{\partial t} + W_{,1} \frac{dx_1}{dt} + W_{,2} \frac{dx_2}{dt} \quad (25)$$

Егер (25) теңдеуін қолдана отырып, t бойынша дербес туындыларды алып тастаса, онда (24) теңдеулері бисипаттама бойындағы туындыларға және $t = \text{const}$ жазықтығындағы туындыларға ие болады, сонда бұл теңдеуді бисипаттама бойындағы дифференциал қатынас ретінде қарастыруға болады. Теңдеулер жүйесіне алгебралық түрлендірулер жасағаннан кейін, (24) теңдеулер жүйесі мынадай түрге келтіріледі:

$$\begin{cases} -\frac{dx_j}{dt} v_{ij} - \sigma_{ij,j} = a_{ij} - \frac{dv_i}{dt} \\ -\lambda_{ij}^2 v_{ij} - \frac{dx_j}{dt} \sigma_{ij,j} = b_{ij} - \frac{d\sigma_{ij}}{dt} \end{cases} \quad (26)$$

Бисипаттама көлбеуі төмендегі шарттан анықталады:

$$\begin{vmatrix} -\frac{dx_j}{dt} & -1 \\ -\lambda_{ij}^2 & -\frac{dx_j}{dt} \end{vmatrix} = 0 \quad (27)$$

Сипаттамалардағы дифференциал қатынастар шарттардан шығады:

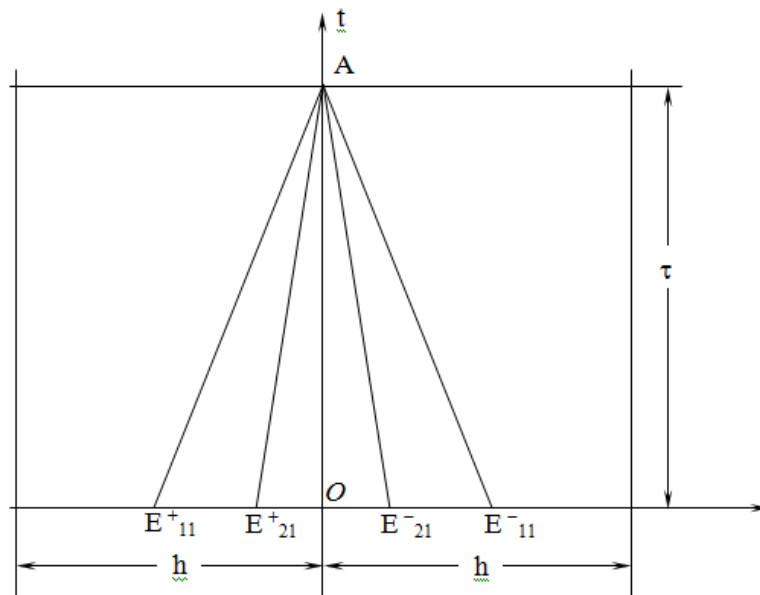
$$\begin{vmatrix} a_{ij} - \frac{dv_j}{dt} & -1 \\ b_{ij} - \frac{d\sigma_{ij}}{dt} & -\frac{dx_j}{dt} \end{vmatrix} = 0 \quad (28)$$

(27) және (28) теңдіктеріндегі анықтауыштарды аша отырып, бисипаттамалардың дифференциал теңдеуін және оларға қойылатын шарттарын алуға болады:

$$dx_j = \pm \lambda_{ij} dt \quad (29)$$

$$d\sigma_{ij} \mp \lambda_{ij} dv_i = (b_{ij} \mp \lambda_{ij} a_{ij}) dt \quad (30)$$

Мұндағы dv_i дегеніміз dt уақыт ішінде (29) бисипаттама бойымен v_i орын ауыстыру жылдамдығының өсімшесі. (29)-ден белгілі болатындай, (x_j, t) екі гипержазықтықтарының әрбіреуінде ($\lambda_{11}=\lambda_{22}=1$) бойлық және ($\lambda_{12}=\lambda_{21}=\gamma_{12}$) ығыстырушы жылдамдықтарымен таралатын бисипаттамалар әулетінің екі жұбы болады. (x_j, t) екі жазықтығының әрбіреуінде оң және теріс бағыттарындағы екі бисипаттамалар әулеттері болады (9-сурет). (29) және (30) теңдеулерінде жоғарғы белгі оң, ал төменгі белгі теріс бағыттағы бисипаттамаларға сәйкес келеді.



Сурет 9 - $x_2 = const$ жазықтығындағы бисипаттаманың түрі

Нүктелік сұлбаны және шаблонды тандау. Берілген конфигурациясы бар қарастырылып отырған есепке сандық есептеулер жүргізу үшін мысал ретінде тіктөртбұрышты қатты D денесін алайық. Есептің мәні берілген зерттелетін дененің сипаттамалық беттерін зерттеу болып табылады.

D денеге стационарлы емес динамикалық жүктемелер түсіріледі. Бастапқы және шекаралық шарттар бүкіл денеде кернеулермен және жылдамдықтармен беріледі. Олардың екеуі де үзіліссіз дифференциалданатын функциялар болып табылады. Дененің қалпы Ox_j ($j=1, 2$) координаттар жүйесі болу мүмкіндігі бар болатындай. Айталық, D денесі қиысулары $x_j=const$ координаттық жазықтықтарын түзетіндей етіп ұяшықтарға бөлінсін. Осы ұяшықтардың Ox_1 және Ox_2 бағытындағы сызықты өлшемдері біркелкі және $h_1=h_2$ тең болып есептелінеді. Осы түйінді нүктелерде әр түрлі уақыт моменттеріндегі τ қадамымен v_i, σ_{ij} ($i, j=1, 2$) ізделінетін функциялардың мәндері ізделінеді. Алынған тор үшөлшемді болып табылады. Негізінде айырымды сұлба

құрылатын нүктелі торға аталған түйінді нүктелерден басқа бисипаттамалар мен $t=const$ гипержазықтықтардың қиылысуынан пайда болған нүктелер де кіреді. Дәлдіктің екінші деңгейіндегі айқын айырымды сұлбаны қолдану $t_0+\tau$ уақыт қабатының түйіндеріндегі белгісіз шамалардың мәндерін алдыңғы $-t_0$ уақыт қабатының түйіндеріндегі белгілі мәндер арқылы табуға мүмкіндік береді. O түйінінен және $x_k=const$ координаттық сызығында жататын және O нүктесінен $\lambda_{ij}\tau$ ($i, j, k=1, 2; k \neq j$) қашықтыққа қалып отыратын E_{ij}^{\pm} нүктелерінен тұратын шаблон қабылданады. E_{ij}^{\pm} ($i, j=1, 2$) нүктелерінің координаттары мынадай формула арқылы табылады:

$$h_{E_{ij}^{\pm}} = h_0 \mp \lambda_{ij} \tau \quad (31)$$

A нүктесінен шығатын көлбеу түзулері бисипаттамалар болып табылады. Болашақта O нүктесіндегі функциялардың мәндеріне жоғарғы “ 0 ” белгісі, ал E_{ij}^{\pm} нүктелеріне төменгі индекс ij және жоғарғы индекс “ \pm ” белгілері жазылып отырады (мысалы, σ_{ij}^{\pm}). Ал A нүктесіне қосымша индекс жазылмайды. Біздің жағдайымызда τ уақыты бойынша қадам $\tau/h \leq 1$ теңсіздігі орындалатындай етіп таңдалынады. Бұл шарт Курант айырымды сұлбасының тұрақтылығы деп аталады.

Жоғарыда айтылған нүктелік сұлбалар негізінде динамикалық есептерді шығаруға арналған әдіснама A нүктесінде қандай да бір $t=t_0+\tau$ уақыт қабатындағы v_i жылдамдықтар мен кернеулер тензорының құраушыларын табуға мүмкіндік береді. Бұл жағдайдағы қажетті шарт - алдыңғы $t=t_0$ уақыт қабатында O нүктесінде және оған іргелес E_{ij}^{\pm} нүктелеріндегі мәндер белгілі болуы. Осындай типке жататын айырымды сұлбалар айқын деп аталады. Мұндай жүйелер тізбектелген түрде, бір уақыттық қабаттан келесісіне көшу арқылы шешіледі.

Анықтауыш айырымды теңдеулер. Динамикалық шеттік есептерді шығару үшін төменде екінші ретті дәлдікті есептеу алгоритмі құрылған.

(24) теңдеуін O нүктесінен A нүктесіне дейін және (30) қатынастарын E_{ij}^{\pm} нүктесінен A нүктесіне дейін трапеция әдісімен интегралдау төмендегідей өрнектерді алуға мүмкіндік береді:

$$\begin{aligned} v_i &= v_i^0 + \frac{\tau}{2} (\sigma_{ij} + a_{ij} + \dot{v}_i^0) \\ \sigma_{ij} &= \sigma_{ij}^0 + \frac{\tau}{2} (\lambda_{ij}^2 v_{ij} + b_{ij} + \dot{\sigma}_{ij}^0) \end{aligned} \quad (32)$$

$$\sigma_{ij} - \sigma_{ij}^{\pm} \mp \lambda_{ij} (v_i + v_i^{\pm}) = \frac{\tau}{2} (b_{ij} + b_{ij}^{\pm} \mp \lambda_{ij} [a_{ij} + a_{ij}^{\pm}]) \quad (33)$$

(33) өрнектен (32) өрнегінің көмегі арқылы σ_{ij} , v_i ді алып тастау арқылы, мынадай өрнекке қол жеткіземіз:

$$\lambda_{ij}^2 v_{i,j} \mp \lambda_{ij} \sigma_{ij} = F_{ij}^{\pm} \quad (34)$$

Мұндағы

$$F_{ij}^{\pm} = b_{ij}^{\pm} - \dot{\sigma}_{ij}^0 \pm \lambda_{ij} (\dot{v}_i^0 - a_{ij}^{\pm}) + \frac{2}{\tau} (\sigma_{ij}^{\pm} - \sigma_{ij}^0 \pm \lambda_{ij} [v_i^0 - v_i^{\pm}]) \quad (35)$$

σ_{ij}^{\pm} ; v_i^{\pm} белгісіз функцияларды, a_{ij}^{\pm} ; b_{ij}^{\pm} белгісіз туындыларды Лагранж формуласы бойынша сәйкесінше квадраттық және сызықты интерполяциялау арқылы есептеуге болады. Лагранж формуласы бойынша интерполяциялау кезінде толқындардың «үдеу» эффектісі байқалады. Осы эффект толқындардың интерференциясы кезінде орын алады, сондықтан да интерференциялық көріністі қатты өзгертіп жіберуі мүмкін. Осыған орай, интерполяцияны қолданатын айырым сұлбасын не толқындардың интерференциясы арнайы түрде есепке алынған жағдайда, не бұл үдеріс өте нашар көрінетін жағдайда ғана қолдануға болады.

Кеңістіктік айнымалылары бойынша тордың қадамы неғұрлым кіші болса, интерполяциялау кезінде енгізілетін бұрмалаушылықтар соғұрлым аз болады. Алайда, бұл жол пайдаланылатын ЭЕМ-лардың жадысының көлемімен шектеледі және айырым сұлбасы ұзақ уақыт аралығында өзінің тұрақтылығын жоғалтуы мүмкін [1,3].

Айырымды сұлбаның торлы қатынасын және нақтылығын жақсарту үшін интерполяцияның орнына аппроксимация қолданылады. Бұл жағдайда, шекті-айырымды теңдеулердің тәуелділік облысы мен дифференциалды теңдеулердің тәуелділік облыстары максималды түрде жақындайды да, ал шекаралық нүктелерде шекті айырымды теңдеулер қосымша интерполяцияларды іске қоспай-ақ есептелінеді.

(35) теңдеуіндегі F_{ij}^{\pm} белгісіздердің мәндері түйінді емес нүктелерде τ кадамға қатысты екінші ретті дәлдікке дейін түйінді нүктеге жақын жерден Тейлор формуласы бойынша есептелінеді.

$$\begin{aligned} F_{ij}^{\pm} &= b_{ij}^{\pm} - \dot{\sigma}_{ij}^0 \pm \lambda_{ij} (\dot{v}_i^0 - a_{ij}^{\pm}) + \frac{2}{\tau} (\sigma_{ij}^{\pm} - \sigma_{ij}^0 \mp \lambda_{ij} (v_i^{\pm} - v_i^0)) = \\ &= b_{ij}^0 \mp \lambda_{ij} b_{ij,j}^0 - \lambda_{ij}^2 v_{i,j}^0 - b_{ij}^0 \pm \lambda_{ij} (\sigma_{ij,j}^0 + a_{ij}^0 - a_{ij}^0 \pm \lambda_{ij} \tau a_{ij,j}^0) + \\ &= \frac{2}{\tau} \left(\sigma_{ij}^0 \mp \lambda_{ij} \tau \sigma_{ij,j}^0 + \frac{\lambda_{ij}^2 \tau^2}{2} \sigma_{ij,jj}^0 - \sigma_{ij}^0 \mp \lambda_{ij} \left(v_i^0 \mp \lambda_{ij} \tau v_{i,j}^0 + \frac{\lambda_{ij}^2 \tau^2}{2} v_{i,jj}^0 - v_{ij}^0 \right) \right) = \\ &= \lambda_{ij}^2 (v_{ij}^0 + \tau a_{ij,j}^0 + \tau \sigma_{ij,j}^0) \mp \lambda_{ij} (\sigma_{ij,j}^0 + \tau b_{ij,j}^0 + \tau \lambda_{ij}^2 v_{i,jj}^0) \end{aligned}$$

Сонымен қатар,

$$\begin{cases} \dot{v}_i = \sigma_{ij,j} + a_{ij} \\ \dot{\sigma}_{ij} = \lambda_{ij}^2 v_{i,j} + b_{ij} \end{cases}$$

Екендігін ескере отырып, ұқсас мүшелерді біріктіріп, төмендегідей өрнекті аламыз:

$$F_{ij}^{\pm} = \lambda_{ij}^2 (v_{ij}^0 + \tau (\sigma_{ij,j}^0 + a_{ij,j}^0)) \mp \lambda_{ij} (\sigma_{ij,j}^0 + \tau (\lambda_{ij}^2 v_{i,jj}^0 + b_{ij,j}^0)) = \lambda_{ij}^2 (v_{ij}^0 + \tau \dot{v}_{ij}^0) \mp \lambda_{ij} (\sigma_{ij,j}^0 + \tau \dot{\sigma}_{ij,j}^0)$$

яғни,

$$\lambda_{ij}^2 v_{i,jj} \mp \lambda_{ij} \sigma_{ij,j} = \lambda_{ij}^2 (v_{i,jj}^0 + \tau (\sigma_{ij,jj}^0 + a_{ij,jj}^0)) \mp \lambda_{ij} (\sigma_{ij,j}^0 + \tau (\lambda_{ij}^2 v_{i,jj}^0 + b_{ij,j}^0)) = \lambda_{ij}^2 (v_{i,jj}^0 + \tau \dot{v}_{i,jj}^0) \mp \lambda_{ij} (\sigma_{ij,j}^0 + \tau \dot{\sigma}_{ij,j}^0) \quad (36)$$

(36) теңдеулер жүйесінде бірдей индекстер жұбы бар әрбір теңдеуді қосу және алу арқылы, мынаны орнатуға болады:

$$\begin{aligned} v_{i,j} &= v_{i,j}^0 + \tau \dot{v}_{i,j}^0 \\ \sigma_{ij,j} &= \sigma_{ij,j}^0 + \tau \dot{\sigma}_{ij,j}^0 \end{aligned} \quad (37)$$

немесе

$$\begin{aligned} v_{i,j} &= v_{i,j}^0 + \tau (\sigma_{ij,j}^0 + a_{ij,j}^0) \\ \sigma_{ij,j} &= \sigma_{ij,j}^0 + \tau (\lambda_{ij}^2 v_{i,jj}^0 + b_{ij,j}^0) \end{aligned} \quad (38)$$

$t_n + \tau$ уақыт моментінде зерттеліп отырған дененің түйінді нүктелеріндегі σ_{ij} және v_i ($i, j=1, 2$) белгісіздеріне қатысты (32) шешілетін теңдеулер жүйесін алу процедуралары зерттелетін облыстың ішкі, шекаралық және бұрыштық нүктелерінде әр түрлі болады.

Облыстың ішкі нүктелеріне арналған шешуші теңдеулер. Ішкі нүктелер үшін айырымды теңдеулерді алу реті төмендегідей:

1) (32) теңдеулерінде уақыт бойынша туындының функциясы (21) теңдеуіндегі t_0 уақыт қабаттарындағы белгілі мәндер арқылы ізделінеді:

$$\begin{aligned} \dot{v}_1^0 &= (\sigma_{11,1} + \sigma_{12,2})^0; & \dot{v}_2^0 &= (\sigma_{21,1} + \sigma_{22,2})^0 \\ \dot{\sigma}_{11}^0 &= (v_{1,1} + \gamma_{11} v_{2,2})^0; & \dot{\sigma}_{22}^0 &= (\gamma_{11} v_{1,1} + v_{2,2})^0 \\ \dot{\sigma}_{12}^0 &= \gamma_{12}^2 (v_{1,2} + v_{2,1})^0. \end{aligned} \quad (39)$$

2) (32) теңдеуіндегі $\sigma_{ij,j}$; $v_{i,j}$; a_{ij} ; b_{ij} белгісіз туындылары ($t=t_0 + \tau$) ізделінетін қабатта (38) теңдеулер жүйесінен ізделінеді:

$$\begin{aligned}
v_{1,1} &= v_{1,1}^0 + \tau (\sigma_{11,11}^0 + \sigma_{12,2,1}^0); & \sigma_{11,1} &= \sigma_{11,1}^0 + \tau (v_{1,11}^0 + \gamma_{11} v_{2,2,1}^0) \\
v_{2,1} &= v_{2,1}^0 + \tau (\sigma_{21,11}^0 + \sigma_{22,2,1}^0); & \sigma_{2,1} &= \sigma_{2,1}^0 + \tau \gamma_{12}^2 (v_{2,11}^0 + v_{1,2,1}^0) \\
v_{1,2} &= v_{1,2}^0 + \tau (\sigma_{12,2,2}^0 + \sigma_{11,1,2}^0); & \sigma_{12,2} &= \sigma_{12,2}^0 + \tau \gamma_{12}^2 (v_{1,2,2}^0 + v_{2,1,2}^0) \\
v_{2,2} &= v_{2,2}^0 + \tau (\sigma_{22,2,2}^0 + \sigma_{12,1,2}^0); & \sigma_{2,2} &= \sigma_{2,2}^0 + \tau (\gamma_{11} v_{1,1,2}^0 + v_{2,2,2}^0)
\end{aligned} \tag{40}$$

3) (39) теңдеулер жүйесінің оң жақ бөлігіндегі функция туындыларын және зерттелетін облыс орталығында орналасқан (x_1^0, x_2^0, t_0) түйіні үшін квадраттық тор бойынша (40) теңдеуін аппроксимациялауға болады, мысалы, орталық айырымдармен:

$$\begin{aligned}
f_{,1} &= (f_{,1})_{i,j} = \frac{1}{2h} [(f)_{i+1,j} - (f)_{i-1,j}]; \\
f_{,2} &= (f_{,2})_{i,j} = \frac{1}{2h} [(f)_{i,j+1} - (f)_{i,j-1}]; \\
f_{,11} &= (f_{,11})_{i,j} = \frac{1}{h^2} [(f)_{i+1,j} - 2(f)_{i,j} + (f)_{i-1,j}]; \\
f_{,22} &= (f_{,22})_{i,j} = \frac{1}{h^2} [(f)_{i,j+1} - 2(f)_{i,j} + (f)_{i,j-1}]; \\
f_{,12} &= (f_{,12})_{i,j} = \frac{1}{4h^2} [(f)_{i+1,j+1} + (f)_{i-1,j-1} - (f)_{i+1,j-1} - (f)_{i-1,j+1}];
\end{aligned}$$

мұндағы h – квадраттық тордың қадамы; i, j – туындылардың мәндері орналасқан нүктенің координаттары.

Облыстың шекаралық нүктелеріндегі шешуші теңдеулер. t_0 уақыт қабатындағы ізделінетін шамалардың берілген немесе есептелінетін мәндері бойынша $t=t_0+\tau$ жазықтықты D зерттелетін тіктөртбұрышты облыстың шекаралық нүктелеріндегі шешімді табуға арналған айырымды теңдеулер (32) және (38) теңдеулер жүйесінің көмегімен алынады.

Теңдеулер жүйесінен $x_j=const$ шекаралық сызықтарда екі шекаралық функциялар беріледі:

$$p_{ij}v_j + q_{ij}\sigma_{ij} = F_j(x_1, x_2, t), \quad (i, j=1, 2) \tag{41}$$

мұндағы p_{ij}, q_{ij} және $F_j(x_1, x_2, t)$ – қандай да бір функциялар.

Есептеулер облысына жатпайтын екі сипаттамаларға (38) шарттары қолданылмайды. Осылайша, ішкі нүктелермен салыстарғанда (38) теңдеулер саны екі есеге қысқарады. (32), (38) қалып қалған теңдеулер мен (41) екі шекаралық шарттардың жиынтығы он үш белгісіздермен (сегіз туынды және бес ізделінетін функция) салыстырғанда тұйық сызықты жүйе болып табылады. D облысының шекаралық нүктелерінде осы белгісіз функциялардың мәндерін есептеу кезінде x_1 және x_2 осьтерінің бағыттарында t_0 жазықтығындағы түйінді нүктелердегі функциялардың өздерінің мәндері бойынша алдын ала бірінші және екінші ретті туындылардың мәндерін есептеп алу керек. Осындай есептеу кезінде ішкі нүктелердегі сияқты орталықтандырылған айырымдарды

қолдануға болмайды. Бұл кезде көршілес түйінді нүктелердегі функциялардың мәндерін қолданатын «алға» және «артқа» айырымдары қолайлы. Мысалы, $x_1=0, |x_2|<L_2$ шекарасында:

$$\begin{aligned}
 f_{,1} &= (f_{,1})_{i,j} = \frac{1}{2h} [4(f)_{i+1,j} - (f)_{i+2,j} - 3(f)_{i,j}]; \\
 f_{,2} &= (f_{,2})_{i,j} = \frac{1}{2h} [(f)_{i,j+1} - (f)_{i,j-1}]; \\
 f_{,11} &= (f_{,11})_{i,j} = \frac{1}{h^2} [(f)_{i,j} - 2(f)_{i+1,j} + (f)_{i+2,j}]; \\
 f_{,22} &= (f_{,22})_{i,j} = \frac{1}{h^2} [(f)_{i,j+1} - 2(f)_{i,j} + (f)_{i,j-1}]; \\
 f_{,12} &= (f_{,12})_{i,j} = \frac{1}{4h^2} [4(f)_{i+1,j+1} - (f)_{i+2,j+1} - 3(f)_{i,j+1} - 4(f)_{i+1,j-1} + (f)_{i+2,j-1} + 3(f)_{i,j-1}].
 \end{aligned} \tag{42}$$

Бұрыштық нүктелерге арналған айырымды теңдеулер. Бұрыштық нүктелерді екі шекаралық сызықтардың қиылысуы ретінде қарастыруға болады. Сондықтан да осы нүктеде осы екі шекаралық сызықтарға қойылған шарттар жиыны орындалуы қажет. Зерттелетін облыстың бұрыштық нүктесінде төрт шекаралық шарт қойылады. Есептеулерде D облысына жатпайтын (38) төрт сипаттамаға қойылатын шарттар болмауы керек. Сонда (38), (32) теңдеулері және (41) шекаралық шарттар зерттелетін облыстың бұрыштық нүктелеріндегі ізделінетін шамаларды анықтайды.

Көбінесе шекаралық шарттар қиылысатын шекаралардағы кернеулермен беріледі. Бұл жағдайда қарастырылып отырған бұрыштық нүктеде кернеудің $\sigma_{11}, \sigma_{12}, \sigma_{21}, \sigma_{22}$ төрт құраушысы беріледі. Жанама кернеулердің жұптылығы заңының күші бойынша олардың ішінде үшеуі ғана сызықты тәуелсіз болып табылады, осылайша берілген шекаралық шарттардың саны теңдеулер жүйесін тұйықтауға қажетті саннан бір бірлікке аз болады. Алайда, берілген шекаралық функцияларды дифференциалдау жолы арқылы жүргізілген $\sigma_{ij,j}$ -ді алдын ала есептеу тұйық теңдеулер жүйесін құруға мүмкіндік береді. Ал бұл теңдеулер жүйесі бойынша алдымен (38) формуласы бойынша $v_{i,j} \subset i \neq j$ есептелінеді, сонан соң (38) $v_{i,j} \subset i=j$ теңдеулерінен және (32) теңдеулерінен жүйе шешіледі.

(32) және (38) теңдеулерінде кездесетін функциялардың туындыларын аппроксимациялау үшін шекаралық нүктелердегідей «алға» және «артқа» айырымдары қолданылады.

Сандық шешімнің дәлдігі мен орнықтылығы. (21) дифференциал теңдеулер жүйесінің дербес туындыларын интегралдау нәтижесінде алынған (32) айырымды теңдеулер жүйесі бастапқы жүйенің шешімімен сайма-сай келетін шешімді беруі қажет. Математикалық физика теңдеуінің жалпы теориясы мұндай қабаттасуға уақыт бойынша қадам мен бастапқы және шекаралық шарттары бар есептердегі координаттар бойынша торлы қатынасқа қойылатын қандай да бір шарттарды қажет етеді, атап айтқанда,

$$\left| \frac{\tau \gamma_{ij}}{h} \right| \leq 1, \quad (43)$$

мұндағы γ_{ij} – гиперболалық жүйенің коэффициенттері.

Физикалық тұрғыдан мұндай шектеу конустың төбесіндегі шешім конустың бетімен шектелетін ішкі облыстың мәндері арқылы өрнектелетіндігін білдіреді, яғни, ізделінетін нүктедегі шешімге әсер ететін облыс арқылы анықталады. Егер мұндай шектеу орындалмаса, онда шекараға жақын жатқан нүктелердегі шешім қарастырылып отырған облысқа жатпайтын бастапқы мәліметтерге тәуелді болады, ал бұл жағдайда айырымды теңдеулердің шешімдерінің дифференциалды теңдеулердің шешімдеріне жақындасуларын күтпеуге болады. Сонымен қатар, облыстың кез келген нүктесінде әдістің қателігі болады, жалпылама айтқанда, уақыт бойынша өсетін қателік. Көршілес нүктелердің мұндай қателіктерінің ізделінетін нүктедегі шешімге әсерін торлы қатынастың мәнін кішірейту арқылы азайтуға болады. Алынған орнықтылық шарты қажетті болып табылады.

Нейман шартынан (кеңейтілген матрицаның спектралды радиусы бірден аспауы қажет) шығатын торлы-сипаттамалық әдістің қажетті орнықтылық шарты мынадай түрде ізделінеді:

$$\max_{i,j=1,2} \left| \frac{\tau \lambda_{ij}}{h} \right| \leq 1; \quad (44)$$

Бұл шарт Курант-Фридрихс-Леви шартын өрнектейді. Алдағы уақытта есептеулерді жүргізу кезінде кеңістіктік уақытты тордың қадамдары (42) және (43) орнықтылық шарттарына сай таңадалынады.

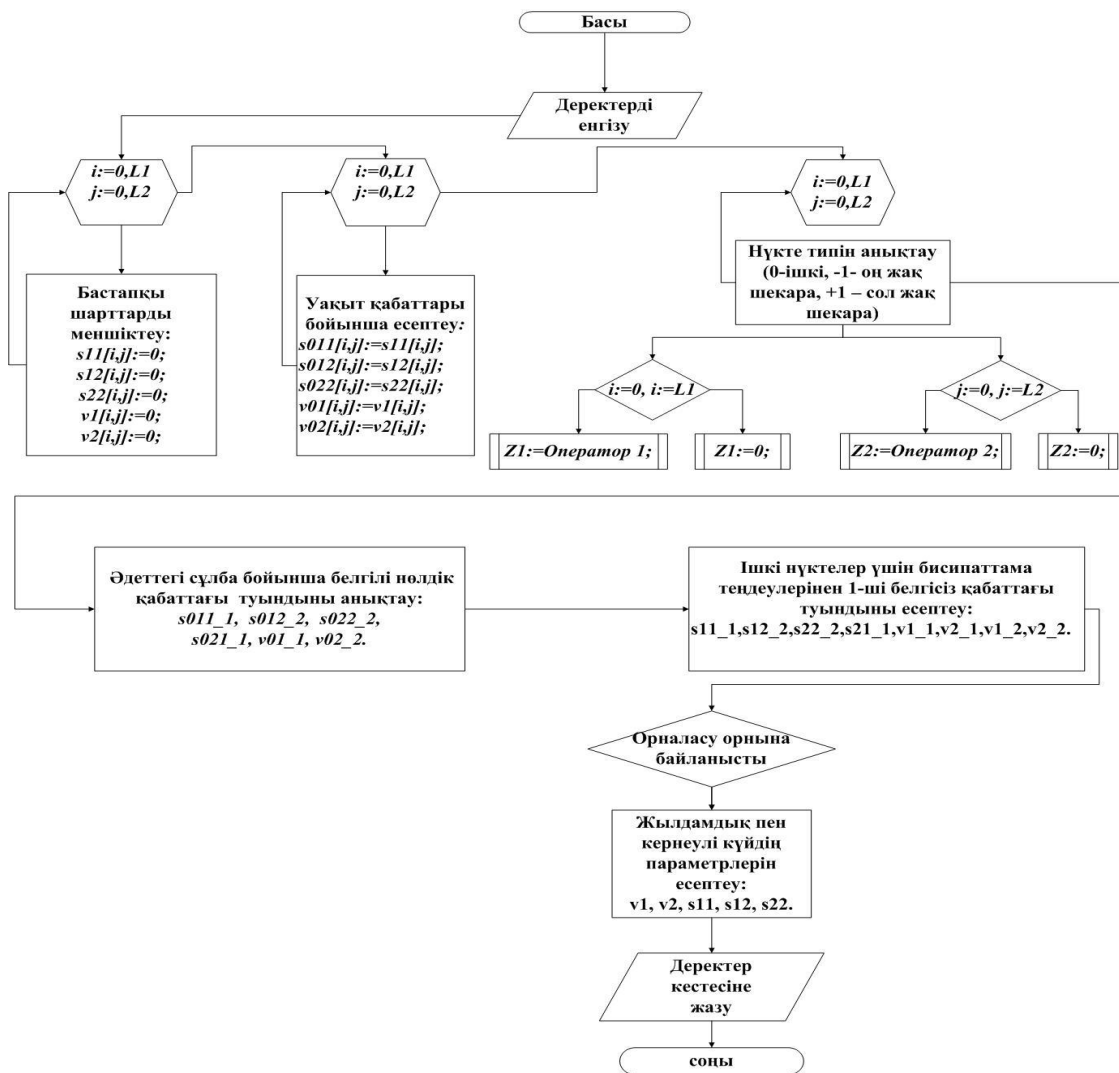
Көптеген жүргізілген тәжірибелік есептеулер арқылы $\left| \frac{\tau}{h} \right| \leq \frac{1}{2}$ шарты уақыттың үлкен моментін есептеудің орнықтылығымен қамтамасыз ететіндігі тексерілген [1].

Осы еңбекте айтылған Тарабриннің есептеу сұлбасының дәлдігін тексеру үшін Ламе есебі шығарылған. Айырымды шешімді уақытқа тәуелді аналитикалық шешімнің нәтижесімен салыстырғанда болмашы ғана қателіктің болғанын көрсетті. Сонымен қатар, зерттелетін дененің тек біртекті бөлігіне ғана арналған нәтижелерді салыстыру да жүргізілді. Көлденең қимасы тіктөртбұрышты біртекті жолақ x_1, x_2 координаттар жүйесінде $0 \leq x_1 \leq L, |x_2| = l$ облысын алады. Тіктөртбұрышты облыста есептің сандық шешімін кеңістіктік сипаттамалар әдісімен (Клифтон әдісі) және бөлшектеу әдісімен (Тарабрин әдісі) алды. Осы шешімдерді салыстыру кезінде бойлық толқынның ең қарқынды фронтында айырмашылық 11% -тен 25%-ке (салыстырмалы айырмашылық) дейін болатындығын көрсетті. Ішкі және шекаралық нүктелерде бұл шешімдер бірдей болады, ал бұрыштық нүктелерде бірден айырмашылық байқалады. Бұл шешімдер нәтижелеріндегі айтарлықтай айырмашылық келесі түрдегідей түсіндіріледі. Клифтон әдісінде бұрыштық нүктелерде анықтауыш теңдеулер айналыс өлшемдері теңдеулерін қосу арқылы алынса, Тарабрин

әдісінде шекаралық функцияларды дифференциалдау жолымен алынады. Атап өтетін жайт, Тарабрин әдісімен табылған v_i, σ_{ij} нәтижелері бұрыштық және оған іргелес нүктелерде біртіндеп өзгерсе, осы нәтижелер Клифтон әдісімен алынғанда, уақыттың бастапқы моменттерінің өзінде жылдам өседі. Аталған сандық есептеудің дәлдігі мен орнықтылығы [1] жұмысында келтірілген. Сондықтан да, Тарабрин әдісімен алынған шешімнің дәлдігін инженерлік мақсаттар үшін толығымен қанағаттанарлық деп айтуға болады, әсіресе, ізделінетін шамалардың сапалық болмысы дұрыс берілген.

Осылайша, автордың таңдаған есептеу әдіснамасы кернеулі-деформацияланған күйге және жүктемелер түсірілген жағдайда жазық біртекті денелерде пайда болатын динамикалық ығысулардың таралу ерекшеліктеріне талдау жасау үшін қолдануға болады.

Есепті шешуге қолданылатын ақпаратты өңдеу алгоритмі. Берілген есептің қойылымын жүзеге асыру үшін бисипаттама әдісінің негізінде программалау тілінде есепті шешу алгоритмінің жалпы түрінің блок-сұлбасы құрылды (10-сурет).



Сурет 10 - Берілген есептің қойылымын шешуге арналған бисипаттама сандық әдісінің алгоритмі

Бөлшектеу әдісі идеясын қолдана отырып, бисапаттама сандық әдісінің негізінде берілген есептің қойылымын шешу алгоритмі:

1. Кіріс деректерін енгізу;
2. Бастапқы шарттарды меншіктеу: $s_{11}[i,j]$, $s_{12}[i,j]$, $s_{22}[i,j]$, $v_1[i,j]$, $v_2[i,j]$;
3. Уақыт қабаттары бойынша есептеу: s_{011} , s_{012} , s_{022} , v_{01} , v_{02} ;
4. Нүкте типін анықтау (ішкі, оң жақ шекарадағы, сол жақ шекарадағы);
5. Белгілі нөлдік қабаттағы туындыны анықтау;
6. Ішкі нүктелер үшін бисапаттама теңдеулерінен 1-ші белгісіз қабаттағы туындыны есептеу;
7. Жылдамдық пен кернеулі күйдің параметрлерін есептеу: s_{11} , s_{12} , s_{22} , v_1 , v_2 .

3. Техникалық қамсыздану ішкі жүйесінің құрамына:

– Аппараттық құралдар: Intel Core i3 2 Гц-нен төмен емес процессор, көлемі 4 Гб төмен емес оперативті жады, қатқыл дискіде бос орын көлемі 3,75 Гб-тан кем емес болу; резервті қорек көзі немесе үздіксіз қорек көзінің болуы, кез келген модельдегі принтер, файлды сақтау және тасымалдау құралдары;

– Программалық құралдар: Windows 7 операциялық жүйесі және онан жоғары нұсқаулары кіреді.

4. Лингвистикалық қамсыздану ішкі жүйесінің құрамына:

– Деректерді басқару тілдері, яғни, ДҚБЖ тілі. Диссертациялық жұмыста құрылған ақпараттық жүйені жүзеге асыру үшін формальді, процедуралық емес программалау тілі SQL сұраныстар тілі қолданылды. Бұл тіл - программалаушының өз қалауы бойынша құрылған реляциялық деректер қорында деректерді құруға, модификациялауға және басқаруға арналған және сәйкес ДҚБЖ-мен басқарылатын тіл.

– Ақпараттық жүйенің құрылуы және қолданысы кезінде пайдаланылатын терминдер мен анықтамалар жүйесі;

– Енгізу-шығару интерфейсын құру үшін және ақпаратты өңдеуге арналған программалық құраушыларды құру үшін Object Pascal программалау тілі кіреді.

5 Программалық қамсыздану ішкі жүйесінің құрамына:

– Ақпараттық жүйенің функциялар мен міндеттерін жүзеге асыратын және компьютерлік техникалық құралдардың жұмысын қамтамасыз ететін программалар: ақпаратты енгізу-шығару интерфейс, машиналық өңдеуге арналған программалық құраушы, визуализациялауға арналған программалық құраушы, деректерді сақтайтын деректер қоры;

– Ақпараттық жүйені пайдалану бойынша нұсқаулар және әдістемелік құралдар;

– Ақпараттық жүйенің толық өмірлік циклы мерзімінде ақпараттық жүйені құратын және сүйемелдейтін персонал кіреді.

6 Ұйымдастырушылық қамсыздану ішкі жүйесінің құрамына:

Ақпараттық жүйені пайдалану бойынша қолданушы нұсқаулығы, стандарттар мен нормативті құжаттар кіреді.

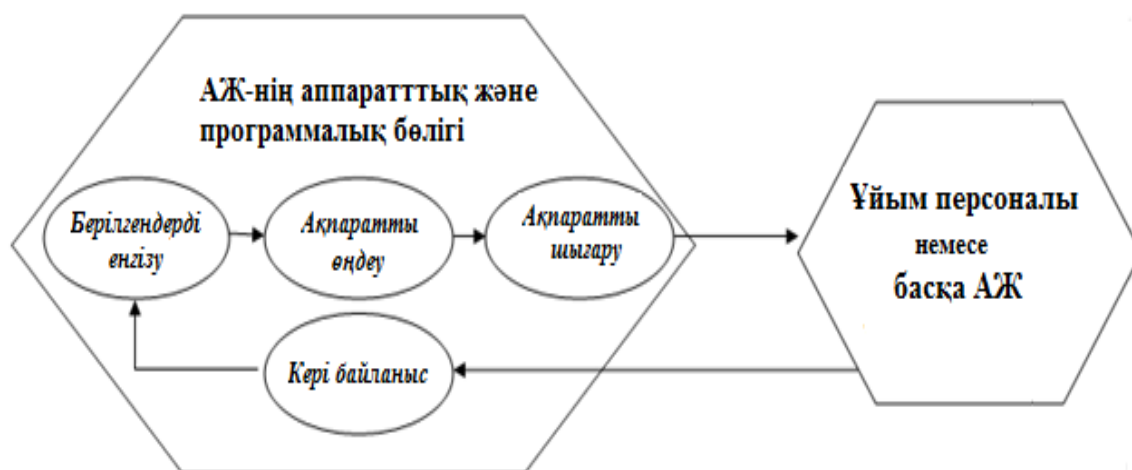
2 ҚАТТЫ ДЕНЕЛЕРДЕ СТАЦИОНАРЛЫ ЕМЕС ТОЛҚЫНДАРДЫҢ ТАРАЛУ ЕСЕБІН ШЕШУГЕ АРНАЛҒАН АҚПАРАТТЫҚ ЖҮЙЕНІ ҚҰРУ

Аталған бөлім қатты денеде стационарлы емес толқындардың таралу есебін шешуге және визуализациялауға арналған ақпараттық жүйені құруға арналған. Бұл бөлімде құрылған ақпараттық жүйе құрылымы, ақпараттық жүйені құрудың тәсілдері мен принциптері, ақпараттық жүйеде орын алатын үдерістер және оларды модельдеу, деректер қорының модельдері қарастырылған. Сондай-ақ, құрылған ақпараттық жүйенің жұмыс істеу принципімен таныстырылып, пайдаланушы нұсқаулығы келтірілген.

2.1 Ақпараттық жүйедегі үдерістерді модельдеу және деректер қорын жобалау

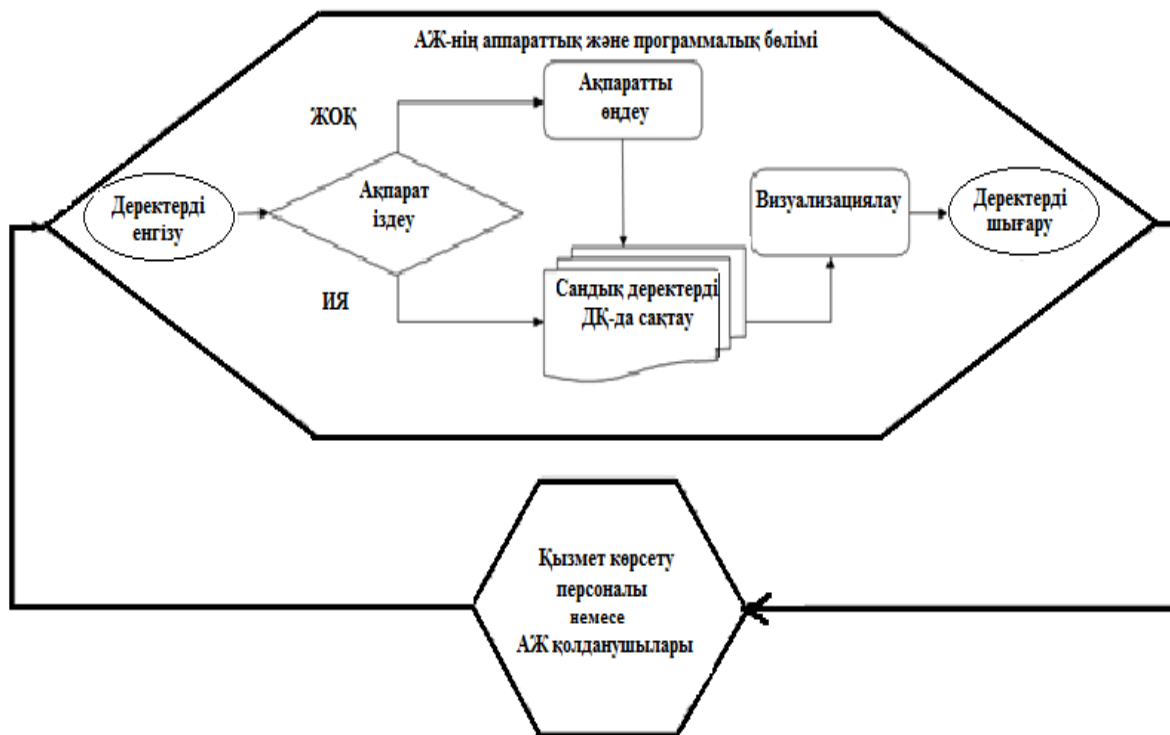
Ақпараттық жүйедегі үдерістер туралы түсінік. Ақпараттық жүйенің жұмысын қамтамасыз ететін үдерістерді (немесе бизнес-үдерістер) шартты түрде мынадай блоктар түрінде бейнелеуге болады:

- сыртқы және ішкі көздерден алынған ақпаратты енгізу;
- кіріс ақпаратын өңдеу;
- ақпаратты оның келесі рет қолданысына дейін сақтау;
- қолданушыға ыңғайлы түрде ақпаратты шығару;
- кері байланыс, яғни, өңделген ақпаратты кіріс ақпаратына өзгертулер енгізу үшін ұсыну (11-сурет).



Сурет 11 – Ақпараттық жүйедегі үдерістер

Басқа да ақпараттық жүйе сияқты, диссертациялық жұмыста құрылған ақпараттық жүйе мынадай үдерістерден тұрады (12-сурет):



Сурет 12 - Қатты денелерде стационарлы емес толқындардың таралу есебін шешуге арналған ақпараттық жүйедегі үдерістер

- *Деректерді енгізу.* Аталған үдерісте төмендегідей кіріс ақпарат енгізіледі: Өлшемі бар шамалар: көлемдік және ығысу толқындарының жылдамдықтары, m/s түрінде; дене тығыздығы, kg/m^3 түрінде; метрмен берілген сипаттамалық ұзындық. Сипаттамалық ұзындық өлшемсіз шамаларға көшу үшін қажет, әдетте сипаттамалық ұзындық ретінде зерттелетін дененің ұзындығы алынады, бірақ міндетті түрде емес.

Өлшемсіз шамалар: h кеңістіктік координаталар бойынша қадам; τ уақыт бойынша қадам; τ/h тордың қатынасы есептеу тұрақты болу үшін 0.5-тен аз немесе тең болуы қажет.

Ыңғайлылық үшін зерттелетін денені бөлетін түйіндер саны және түйіндер санымен, қадаммен және сипаттамалық ұзындықпен есептелетін L_1 ұзындығы және L_2 ені сияқты өлшемі бар шамалар енгізіледі.

Шекаралық шарттар өлшемсіз шамалар ретінде мынадай форматта беріледі:

1) $x_1=0$ жағдайында кернеулер беріледі: нормальді кернеулер $\sigma_{11}=A*\sin(B*t)+P*t*e^{k*t}$, жанама кернеулер $\sigma_{12}=0$.

2) $|x_2|=L_2/2$ жағдайында нормальді кернеулер $\sigma_{22}=A*\sin(B*t)+P*t*e^{k*t}$, жанама кернеулер $\sigma_{12}=0$.

3) $x_1=L_1$ жағдайында бағыттар бойынша бөлшектердің орын ауыстыру жылдамдығы мына түрде беріледі: $v_1=A*\sin(B*t)$ және $v_2=A*\sin(B*t)$, мұндағы A, B, P, k коэффициенттері физикалық шарттар бойынша беріледі.

Өлшемнен құтылуға арналған формулаларда берілген функциялардың модульдері бойынша мәндері 1-ден аз болады.

- *Ақпаратты іздеу*. Зерттелетін дененің тығыздығы мен көлемдік және ығысу жылдамдықтарының мәндері бойынша ақпараттық жүйенің деректер қорынан қажетті ақпарат ізделінеді. Аталған кезеңде мынадай шарт орындалады: Егер де ізделінетін параметрлер бойынша деректер қорында ақпарат бар болса, онда келесі кезеңге, визуализациялау үдерісіне көшеді. Егер де ізделінетін параметрлер бойынша деректер қорында ақпарат болмаса, онда үдеріс есептеу үдерісіне ауысады.

- *Ақпаратты өңдеу*. Аталған үдерісте деформацияланған қатты денеде толқындық үдерісті сандық түрде есептеу жүзеге асады. Үдерістің нәтижесі кесте түрінде бейнеленген мынадай параметрлерден тұрады:

N_TIME – уақыт бойынша қадам нөмірі;

$X1$ - x_1 координаты бойынша түйін нөмірі;

$X2$ - x_2 координаты бойынша түйін нөмірі;

$S11$ - σ_{11} кернеу мәндері;

$S12$ - σ_{12} кернеу мәндері;

$S22$ - σ_{22} кернеу мәндері;

$V1$ - V_1 жылдамдық мәндері;

$V2$ - V_2 жылдамдық мәндері.

- *Деректер қорында сандық мәндердің сақталуы*. Бұл үдерісте жүйе есептелінуден кейін алынған сандық мәндерді деректер қорында сақтайды.

- *Визуализациялау*. Бұл үдерісте деректер қорында сақталған сандық мәндер бойынша кернеулер мен жылдамдықтар осциллограммалары және жылдамдықтардың векторлық өрістері визуализацияланады.

- *Деректерді шығару*. Бұл үдерісте визуализациялау нәтижелерін экранға және/немесе баспаға шығарылады.

Ақпараттық жүйедегі үдерістерді модельдеу. Қатты денелерде стационарлы емес толқындардың таралу есебін шешуге арналған ақпараттық жүйедегі үдерістерді модельдеу үшін IDEF әдістемесі қолданылды.

Үдерістерді (бизнес-үдерістер) модельдеу дегеніміз - жүйе жалпы қалай жұмыс жасайтынын және оның әрбір бөлігіндегі жұмыстың қалай ұйымдастырылғанын анықтауға мүмкіндік беретін жүйе жұмысын оңтайландыру жолдарын іздеуге арналған тиімді тәсіл. Бизнес үдерістің моделін (сипаттамасын) құру әдістемесі (нотация) дегеніміз - нақты әлемнің объектілері және олардың арасындағы байланыстар модельдер түрінде бейнеленеді. Әрбір объект және байланыстар үшін нақты объектінің белгілі бір сипаттамаларын бейнелейтін параметрлер (объект нөмірі, атауы, сипаттамасы, орындалу ұзақтығы (функциялар үшін), бағасы және т.б.) қатары немесе атрибуттар тиесілі болады.

IDEF жалпы әдістемесі жүйелерді графикалық түрде бейнелеуге негізделген модельдеудің үш дербес әдістемесінен құралады:

– IDEF0 әдістемесі жүйенің құрылымын және функцияларын, сонымен қатар, ақпараттар ағымдарын және осы функцияларды

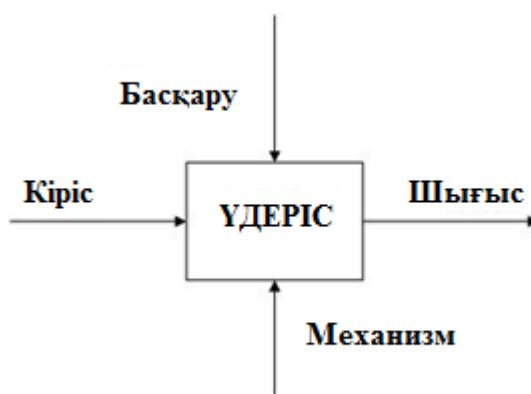
байланыстыратын материалдық объектілерді бейнелейтін функционалды модельді құруға арналған.

– IDEF1 әдістемесі жүйенің функцияларын сүйемелдеуге қажетті ақпараттық ағымдардың құрылымын және құрамын бейнелейтін ақпараттық модельді құруға арналған.

– IDEF2 уақыт бойынша өзгертін функция жағдайының, жүйе ақпаратының және ресурстарының динамикалық моделін құруға мүмкіндік береді.

IDEF0 – бизнес-үдерістерді сипаттау нотациясы SADT әдістемесіне негізделген. SADT (Structured Analysis and Design Technique, құрылымдық талдау жасау және жобалау технологиясы) – жүйелердің графикалық белгілері мен сипаттау тәсілі.

IDEF0 әдістемесінің идеясы бизнес-үдерістердің кіріс және шығыс бағыттауыштары бар тіктөрбұрыштар түрінде бейнеленуінде жатыр (13-сурет).



Сурет 13 - IDEF0 әдістемесінің (нотациясы) идеясы

IDEF0 әдістемесі үшін үдерістің жағы және онымен байланысты бағыттауыштың мәні бар:

– сол жақтан келіп кіретін бағыттауыш – бизнес-үдерістің кірісі – үдерістің орындалу барысында өңделетін ақпарат немесе құжат;

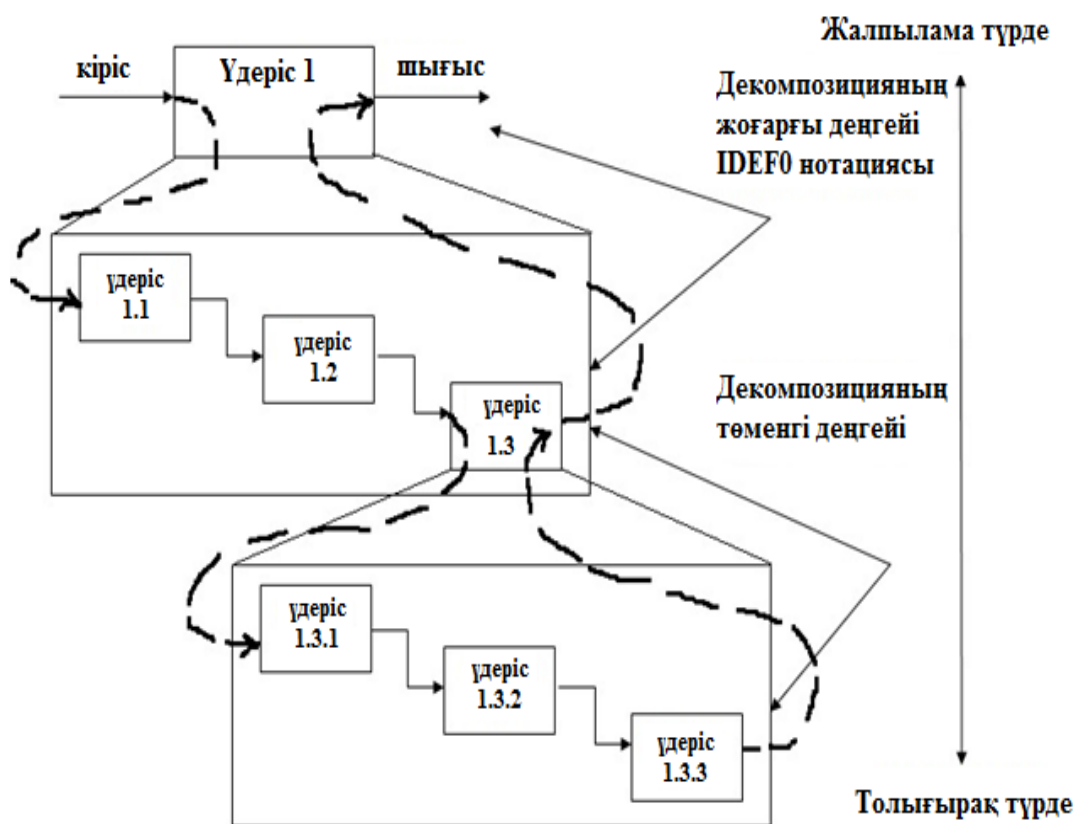
– оң жақтан келіп кіретін бағыттауыш – бизнес-үдерістің шығысы – өңделген ақпарат немесе құжат;

– үстінен түсірілетін бағыттауыш - бизнес-үдерісті басқару - бизнес-үдеріс қалай орындалуы керектігін, кірістің шығысқа қалай түрленуі керектігін анықтайтын ақпарат немесе құжат;

– төменнен кіретін бағыттауыш бизнес үдерістің механизмі кірісті шығысқа түрлендіретін қызметкерлер немесе техника.

Бір үдерістің шығысы екінші үдерістің кірісі/басқаруы/механизмі болады. Диаграммада үдерістерді жоғарғы сол жақ бұрыштан бастап оң жақ төменгі бұрышқа дейін диагональ бойымен орналастыру келісілген. Үдерістердің саны 5-6-дан аспаулары керек.

Бизнес- үдеріс құраушы ішкі үдерістерге бөлінуі (декомпозициялануы) мүмкін. IDEF0 бизнес үдерістердің моделін жоғары деңгейде сипаттауы үшін қолданылады (14-сурет) [85].



Сурет 14 – IDEF0 әдістемесіндегі (нотациясындағы) үдерістердің декомпозициясы

Қатты денелерде стационарлы емес толқындардың таралу есебін шешуге және визуализациялауға арналған ақпараттық жүйе мынадай негізгі үдерістерден тұрады (15-сурет):

1. *Ақпараттық жүйеге мәндерді енгізу.*

Кіріс үдерісі – кіріс деректерінің мәндері;

Шығыс үдерісі – кіріс параметрлерінің тексеруші мәндері;

Механизм – қолданушы немесе сарапшы;

Басқару – параметрлерді енгізу бойынша талаптар (өлшем бірліктері).

2. *Ақпараттық жүйедегі деректерді өңдеу.*

Кіріс үдерісі - кіріс параметрлерінің тексеруші мәндері;

Шығыс үдерісі – нәтижелер кестесі;

Механизм – ақпараттық жүйе;

Басқару – программалық код логикасы.

3. *Ақпараттық жүйеде деректерді сақтау.*

Кіріс үдерісі - нәтижелер кестесі немесе кіріс параметрлерінің тексеруші мәндері;

Шығыс үдерісі – шығыс параметрлерінің сандық мәндері;

Механизм – ақпараттық жүйе;

Басқару – жоқ.

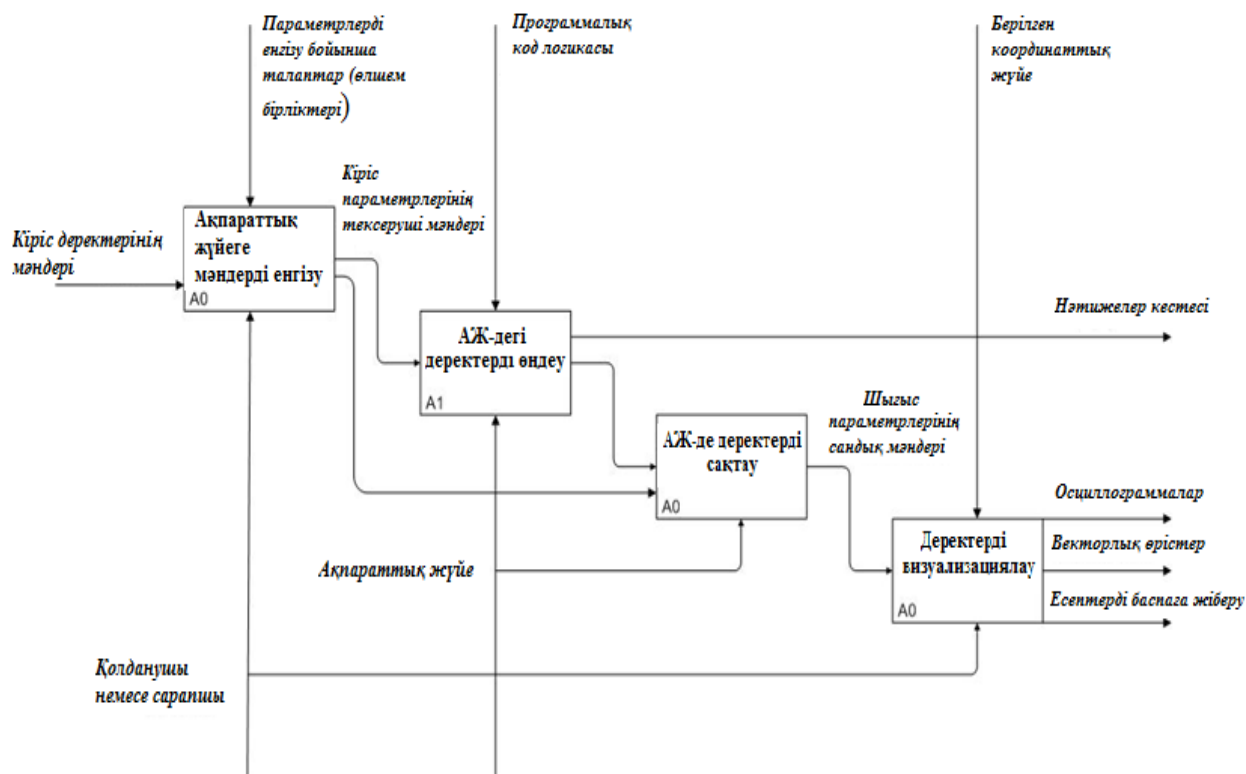
4. *Деректерді визуализациялау.*

Кіріс үдерісі - шығыс параметрлерінің сандық мәндері;

Шығыс үдерісі – осциллограммалар, векторлық өрістер және есеп берулер түрінде;

Механизм – ақпараттық жүйе;

Басқару – берілген координаттық жүйе.



Сурет 15 - Қатты денелерде стационарлы емес толқындардың таралу есебін шешуге және визуализациялауға арналған ақпараттық жүйедегі үдерістерді модельдеу

«АЖ-де деректерді өңдеу» үдерісі 3 ішкі үдеріске декомпозицияланады (16-сурет):

1. *ДҚ-нан мүмкін болатын шешімдерді іздеу.*

Кіріс үдерісі – Параметрлер (тығыздық, жылдамдықтар мәндері);

Шығыс үдерісі – Нәтижелер кестесі;

Механизм – Қолданушы немесе Сарапшы;

Басқару – жоқ.

2. *Математикалық есептеулерді жүргізу.*

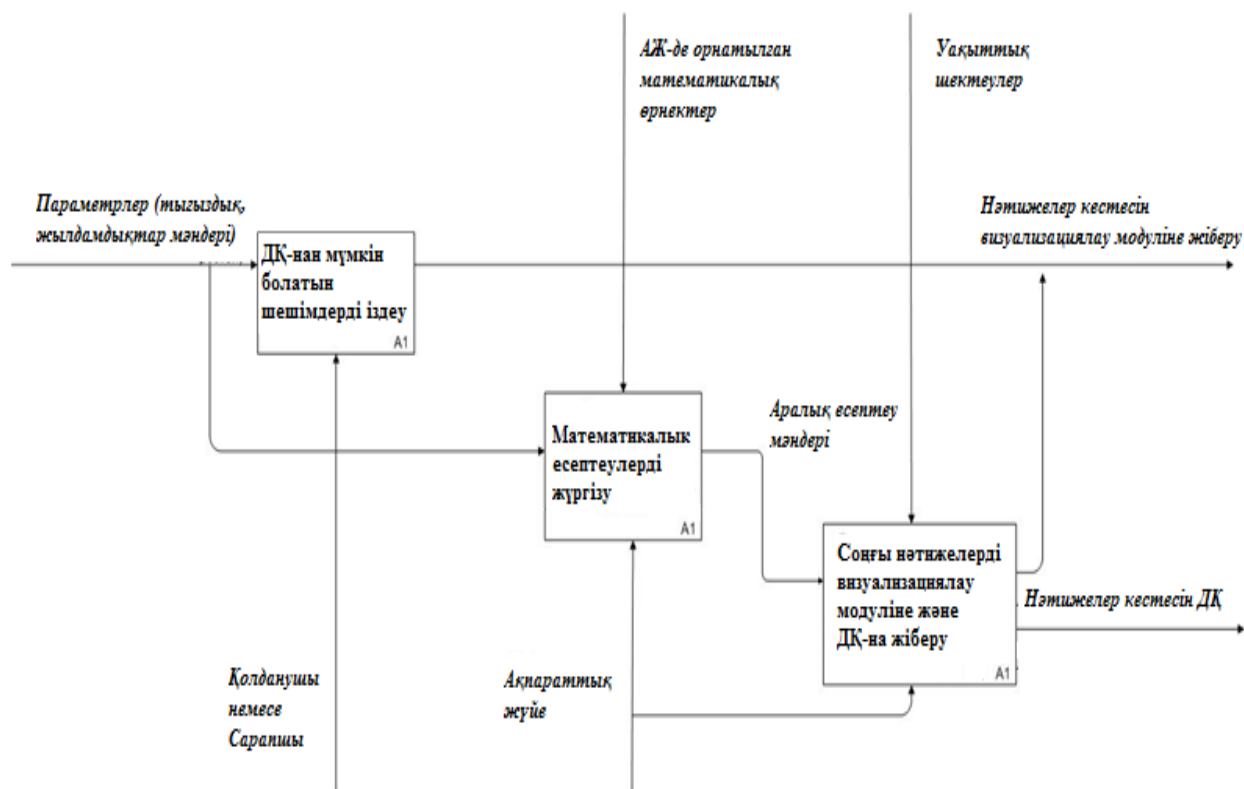
Кіріс үдерісі – Параметрлер (тығыздық, жылдамдықтар мәндері);

Шығыс үдерісі – Аралық есептеу мәндері;

Механизм – Ақпараттық жүйе;

Басқару – АЖ-де орнатылған математикалық өрнектер.

3. *Соңғы нәтижелерді визуализациялау модуліне және ДҚ-на жіберу.*
 Кіріс үдерісі – Аралық есептеу мәндері;
 Шығыс үдерісі – Нәтижелер кестесін ДҚ на және Нәтижелер кестесін визуализациялау модуліне жіберу;
 Механизм – Ақпараттық жүйе;
 Басқару – Уақыттық шектеулер.



Сурет 16 – «АЖ-де деректерді өңдеу» үдерісі

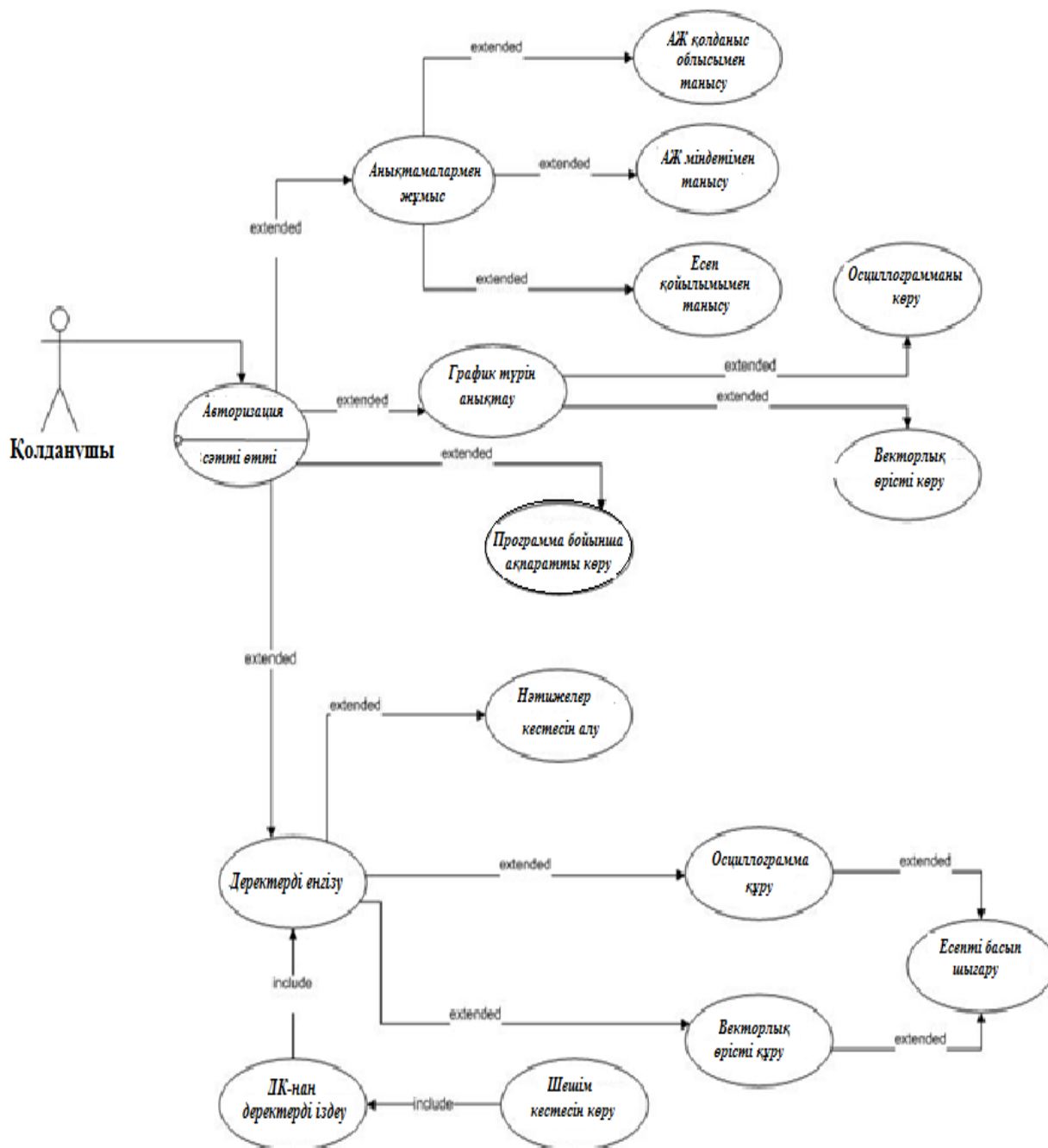
Қатты денелерде стационарлы емес толқындардың таралу есебін шешуге және визуализациялауға арналған ақпараттық жүйе қасиеттері және оның қолданушысына қойылатын талаптар. Қатты денелерде стационарлы емес толқындардың таралу есебін шешуге және визуализациялауға арналған ақпараттық жүйе мынадай қасиеттермен анықталады:

- жалпы жүйені құрудың негізгі принциптері негізінде жүйеге талдау жасалуы, оны құруға және басқаруға болады;
- жүйе жүйелік және динамикалық болып табылады;
- ақпараттық жүйенің соңғы нәтижесі ақпарат болып табылады, ол ақпарат негізінде шешімдер қабылданып, болжаулар жасалынады.
- ақпараттық жүйені адами-машиналық ақпаратты өңдеу жүйесі ретінде қарастыруға болады.

Құрылған ақпараттық жүйенің қолданушысы ретінде инженер-механик, инженер-жобалаушы, инженер-құрылысшы, инженер-есепші, инженер-

құрастырушы, құрылыс мәселелерімен, шахталық құрылыспен, көлік құрылысымен, сейсмологиямен айналысатын ғылыми-зерттеу институттарының ғылыми қызметкері, құрылысшы және механика мамандығының студенттеріне сабақ беретін жоғарғы, арнайы орта оқу орындарының оқытушысы бола алады.

Ақпараттық жүйе қолданушысына қойылатын талаптарды модельдеу UML-диаграммалар негізінде жүзеге асты (17 –сурет).



Сурет 17 – Қолданушы талаптары

Сәтті авторизациялаудан өткен қолданушы жүйеде мынадай мүмкіндіктерге қол жеткізе алады:

- Анықтамалармен жұмыс істей алады, яғни, жүйенің қолданыс облысымен және міндетімен, сонымен қатар, жүйенің шешетін есеп қойылымымен таныса алады;

- Жүйе және оның құрастырушысы туралы ақпаратты көре алады;

- Сандық мәндерді визуализациялау үшін график түрін таңдау, осциллограмма немесе/және векторлық өріс;

- Есептеу жұмыстарын жүзеге асыру үшін кіріс деректерін енгізу.

Жүйе қолданушыға есеп шешімінің кестесін шығарып береді. Бұл шешімдер кестесі бойынша қолданушыда осциллограмманы және векторлық өрісті тұрғызып, сонымен қатар, алынған нәтижені баспаға шығара алу мүмкіндігі болады. Кіріс деректерін енгізуге деректер қорынан ақпаратты іздеу үдерісі кіреді, яғни, егер де енгізілген мәліметтер бойынша жүйеде алдында есептеу жұмыстары жүргізілсе, онда қолданушыға дайын шешімдер кестесін шығарып береді.

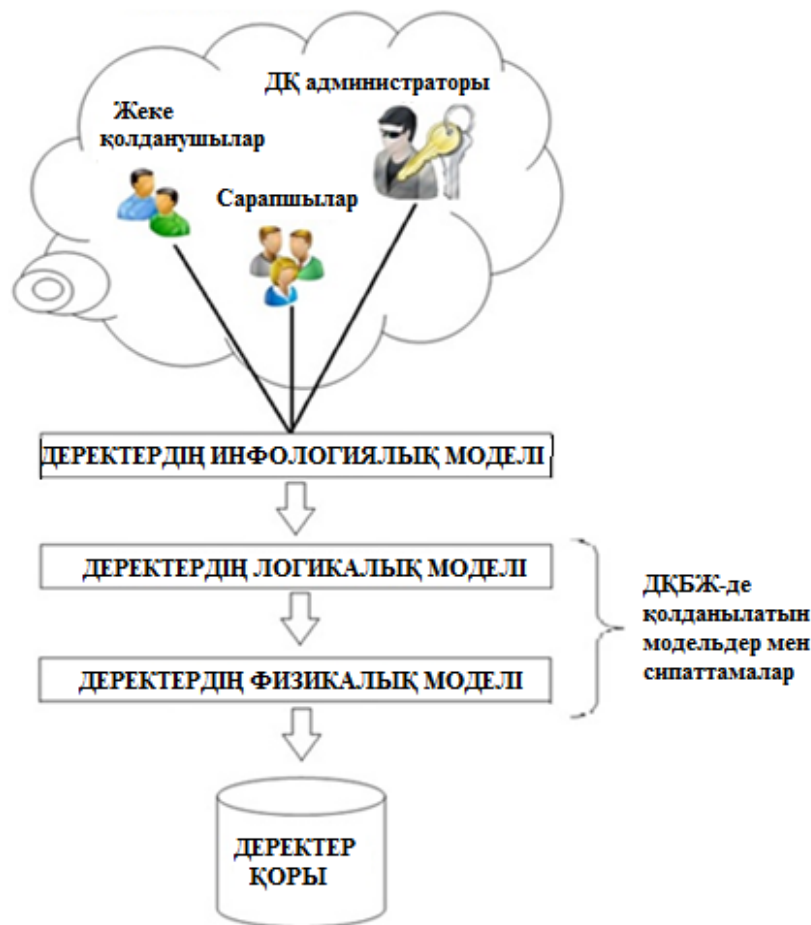
Деректер қорын жобалау. Ақпараттық жүйені құру ақпаратты басқару құралдарын құру болып табылады. Ақпараттық жүйелер ақпаратты қабылдайды, белгілі бір ережелерге сай оны өңдейді және тұтынушыларға нәтижені баспаға, экран бетіне, құлақаспаптарға, файлдарға шығарып береді де, ақпаратты басқа жүйеге және т.б. жібереді. Сондықтан да, сапалы ақпараттық жүйені құру үшін бизнес-үдерістерді және тапсырыс берушінің қажеттеліктерін ғана толық түсіну жеткіліксіз. Ең бастысы, құрылатын ақпараттық жүйе қандай ақпаратты басқаратынын білу керек. Ол үшін құрылатын ақпараттық жүйенің пәндік облысына қандай объектілер кіретінін және олардың арасында қандай байланыстардың болатынын білуі қажет [86]. Мұндай түсінуді қалыптастыру үшін пәндік облыстың деректер моделі пайдаланылады.

Деректер моделі дегеніміз - деректердің өзара байланысқан құрылымдары және осы құрылымдармен жасалынатын операциялар жиынтығы. Модель түрі және онда пайдаланылатын құрылымдар типі ДҚБЖ-де немесе ақпаратты өңдеудің қолдабалы программасы құрылатын программалау тілінде қолданылатын деректердің ұйымдастырылуын және өңделуін көрсетеді.

Ақпараттық жүйенің деректерінің жалпы моделі төмендегідей бөлімдерден тұрады (18-сурет):

- деректердің концептуалды (инфологиялық) моделі;
- деректердің логикалық (даталогиялық) моделі;
- деректердің физикалық моделі.

Пәндік облыс (ДҚ-да бейнеленетін нақты әлем бөлігі)



Сурет 18 – Деректер қорын жобалау

Ақпараттық жүйенің деректер қорын жобалау үдерісі төмендегідей негізгі кезеңдерге бөлінеді:

Концептуалды жобалау – деректерді жинау, талдау жасау және қойылатын талаптарды өңдеу. Ол үшін келесідей іс-шаралар жүзеге асырылады:

- пәндік облысты зерттеу, оның ақпараттық құрылымын оқып-үйрену;
- барлық фрагменттерді анықтау. Ол фрагменттердің әрбіреуі қолданушылық көрініс, ақпараттық объектілермен және олардың арасындағы байланыстармен, ақпараттық объектілермен жасалатын үдерістермен сипатталады.

- барлық көріністі модельдеу және интеграциялау.

Осы кезеңнің аяқталысымен концептуалды модель алынады. Бұл модель деректер қорының құрылымымен инвариантты болады. Көбінесе бұл модель «мән-байланыс». Түрінде бейнеленеді.

Концептуалды жобалау – аналитиктің көрінісі (мәндер, атрибуттар, байланыстар).

Концептуалды (инфологиялық) модель – құрамында деректер мен олардың арасындағы байланыстардың толық жиыны бар нақты деректер қорын басқару жүйелерінің терминдеріндегі пәндік облыстың ақпараттық моделі. Деректер

қорын басқару жүйесінің архитектурасында ол сыртқы және ішкі деңгейлер арасындағы аралық кезең түрінде болады.

Логикалық жобалау – деректер құрылымындағы деректерге қойылатын талаптардың түрленуі. Шығысында деректер қорын басқару жүйесі - деректер қорының бағытталған құрылымын және қолданбалы программалардың спецификациясы алынады. Осы кезеңде көбінесе деректер қорын әр түрлі деректер қорын басқару жүйесіне қатысты модельдейді және модельдерге салыстырмалы талдау жасайды.

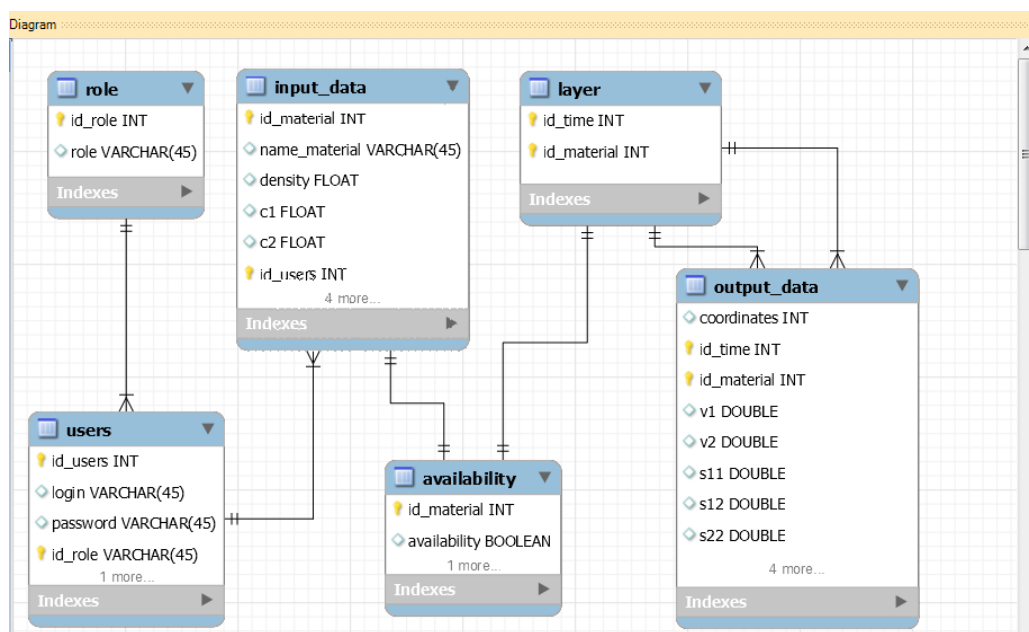
Логикалық жобалау дегеніміз - программистің көрінісі (жазбалар, деректер элементтері, жазбалар арасындағы байланыстар).

Осы кезеңнің аяқталуының нәтижесінде логикалық модель құрылады.

Логикалық (даталогиялық) модель концептуалды модельдің атрибуттарының мәндерін, сипаттамаларын және шектеулерін анықтау арқылы, мәндердің құрамын және олардың арасындағы өзара байланысын нақтылайды.

Физикалық жобалау дегеніміз - белгілі бір ДҚБЖ-сіне арналған деректер қорының сұлбасын құру. Нақты ДҚБЖ-нің ерекшеліктеріне деректер қорының объектілерінің атауын беру, деректер типіне қойылатын шектеулер, және т.б. жатады. Мұнан басқа, физикалық жобалау кезінде нақты ДҚБЖ-сінің ерекшелігіне деректерді сақтаудың физикалық ортасымен байланысты шешімдер таңдауы (дискілік жадыны басқарудың тәсілдерін таңдау, деректер қорын файлдар және құрылғылар бойынша бөлу, деректерге қол жеткізудің тәсілдері), индекстерді құру және т.б. кіреді. Деректердің физикалық моделі нақты деректер қорының объектілік деңгейінде логикалық модель объектілерінің жүзеге асырылуын сипаттайды [87].

Қатты денелерде стационарлы емес толқындардың таралу есебін шешуге және визуализациялауға арналған ақпараттық жүйесінің деректер қорын жобалау кезінде деректердің физикалық моделі құрылды (19-сурет):



Сурет 19 – Деректердің физикалық моделі

Қатты денелерде стационарлы емес толқындардың таралу есебін шешуге және визуализациялауға арналған ақпараттық жүйенің деректер қорының физикалық моделі Delphi ортасында Paradox форматында жүзеге асырылды.

2.2 Ақпараттық жүйенің құрылымы

Ақпараттық жүйені құру принциптері мен тәсілдері. Тиімді ақпараттық жүйелерді құрудың маңызды принциптері:

– Интеграциялау принципі. Бұл принцип жүйеге енгізілген, өңделетін ақпаратты көптеген есептердің үлкен көлемін бірнеше рет шешу үшін қолдануға негізделеді.

– Жүйелілік принципі. Бұл принцип басқарудың барлық деңгейлерінде шешім қабылдауға қажетті ақпаратты алу үшін деректерді әр түрлі аспектілерде өңдеуге негізделген.

– Кешенділік принципі. Бұл принцип ақпараттық жүйенің қызмет етуінің барлық кезеңдерінде деректерді қайта өңдеуді механизациялауға және автоматтандыруға негізделген [87].

Ақпараттық жүйені құрудың бірнеше тәсілдері бар, олардың ішінде мынадай түрлерді бөліп көрсетуге болады: «төменнен жоғары» әдісі, «жоғарыдан төмен» әдісі, «дуализм» принципі, көпкомпонентті және т.б.

Диссертациялық жұмыста құрылған ақпараттық жүйе «төменнен жоғары» әдісі негізінде құрылды. «Төменнен жоғары» әдісінің мәні қандай да бір программалық өнімді тиражға шығару мақсатында құру емес, белгілі бір ұйымның есептерін шешу мақсатында құру болып табылады.

Ірі ұйымдардың заманауи басшылары көбінесе осы тәсілге жүгінеді, себебі оларға өз мамандарының болғаны ыңғайлы. Программаларды «төменнен жоғары» тәсілімен құру білікті программалаушылар көмегімен жүзеге асады және мұндай тәсіл жеке үдерістерді автоматтандыруға мүмкіндік береді.

Диссертациялық жұмыста құрылған қатты денелерде стационарлы емес толқындардың таралу есебін шешуге және визуализациялауға арналған ақпараттық жүйе белгілі бір саладағы мамандарға лезде қажетті ақпаратты алуға және нақты физикалық үдерістің моделін алып, ары қарай зерттеу жұмыстарын жүргізуге, талдау және болжам жасауға септігін тигізеді.

Ақпараттық жүйенің ақпараттық процедуралары және қасиеттері. Барлық ақпараттық үдерістер қандай да бір кіріс ақпаратты нақты нәтижеге қайта өңдеу механизмін орындайтын ақпараттық процедуралардың көмегімен жүзеге асырылады.

Ақпараттық процедуралардың мынадай типтері болады:

1. Толығымен формальданатын ақпараттық процедуралар. Мұндай процедураны орындау кезінде ақпаратты қайта өңдеу алгоритмі өзгеріссіз және толығымен анықталған болып қалады (іздеу, есепке алу, ақпаратты тарату, құжаттарды басып шығару, модельдерде есептеу).

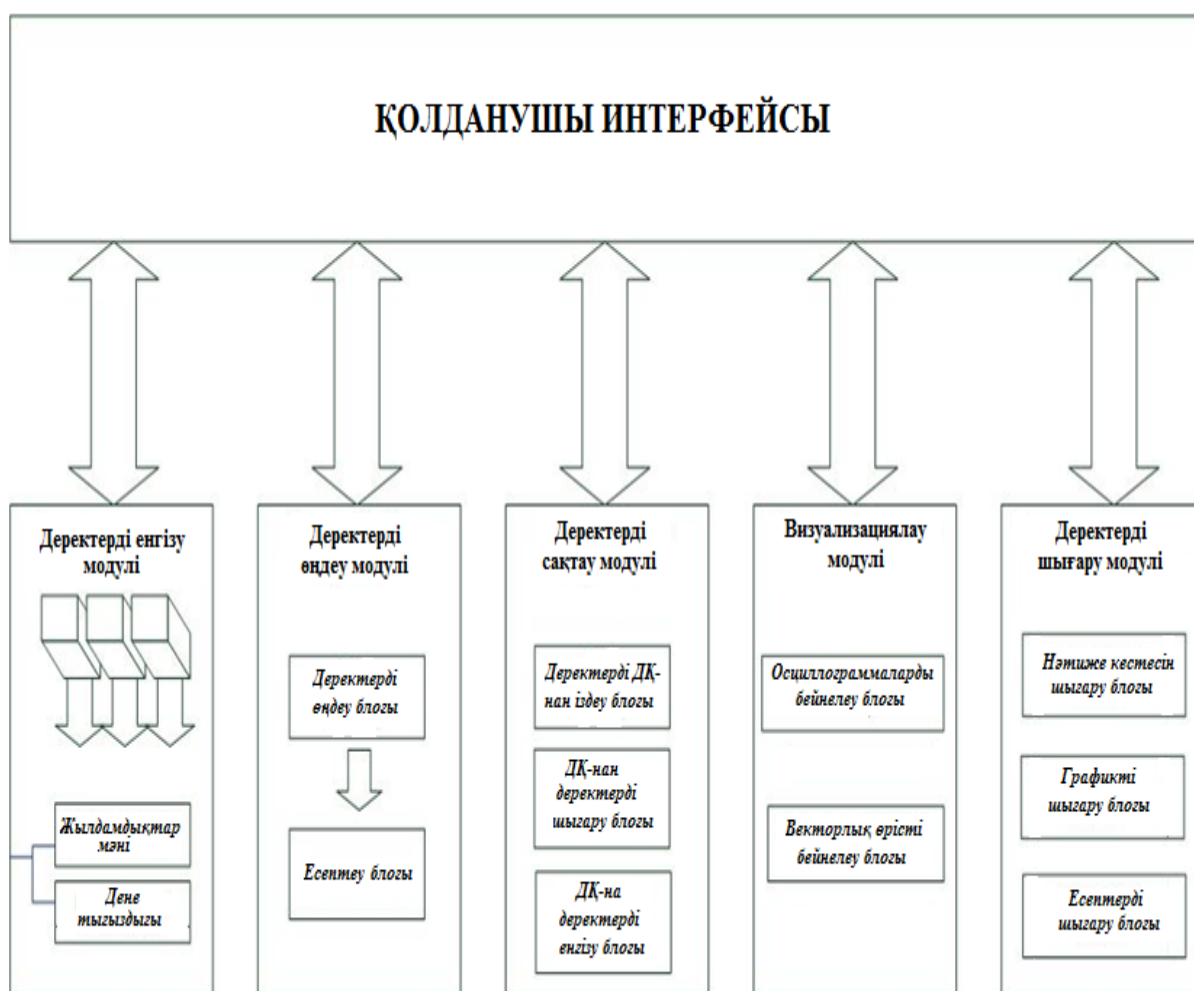
2. Формальданбаған ақпараттық процедуралар. Мұндай процедураны орындау кезінде жаңа бірегей ақпарат құрылады, ал шығыс ақпаратты қайта өңдеу алгоритмі белгісіз болып қалады (альтернативті таңдаулар жиынын құру, алынған жиынның бір нұсқасын таңдау).

3. Нашар формальданған ақпараттық процедуралар. Мұндай процедураны орындау кезінде ақпаратты қайта өңдеу алгоритмі өзгереді және толығымен анықталмаған бола алады (жобалау есебі, экономикалық саясаттың нұсқасының тиімділігін бағалау).

Ақпараттық жүйелерде құратын және сүйемелдейтін ақпараттық бөлімдердің қызметіне: сұраныстарды жариялау және өңдеу, ақпараттың бүтіндігіне және сақталуына қолдау көрсету, ақпаратқа мерзім бойынша тексеріс өткізіп тұру, ақпаратты индекстауды автоматтандыру кіреді [88].

Кез келген құрылған ақпараттық жүйенің өз құрылымы болады. Құрылым дегеніміз - объектілердің және олардың байланыстарының фиксирленген реттелген жиыны.

Қатты денелерде стационарлы емес толқындардың таралу есебін шешуге және визуализациялауға арналған ақпараттық жүйенің құрылымы мынадай түрде (21-сурет):



Сурет 21 – Ақпараттық жүйе құрылымы

Ақпараттық жүйенің барлық модульдері қолданушы интерфейсы арқылы өзара байланысады.

Аталған ақпараттық жүйеде төмендегідей негізгі модульдер бар:

1. Деректерді енгізу модулі. Бұл модуль кіріс деректерін енгізуге арналған, яғни, зерттелетін дененің тығыздығының және осы денеде таралатын толқындардың көлемдік және ығыстыру толқындарының жылдамдықтарының мәндері.

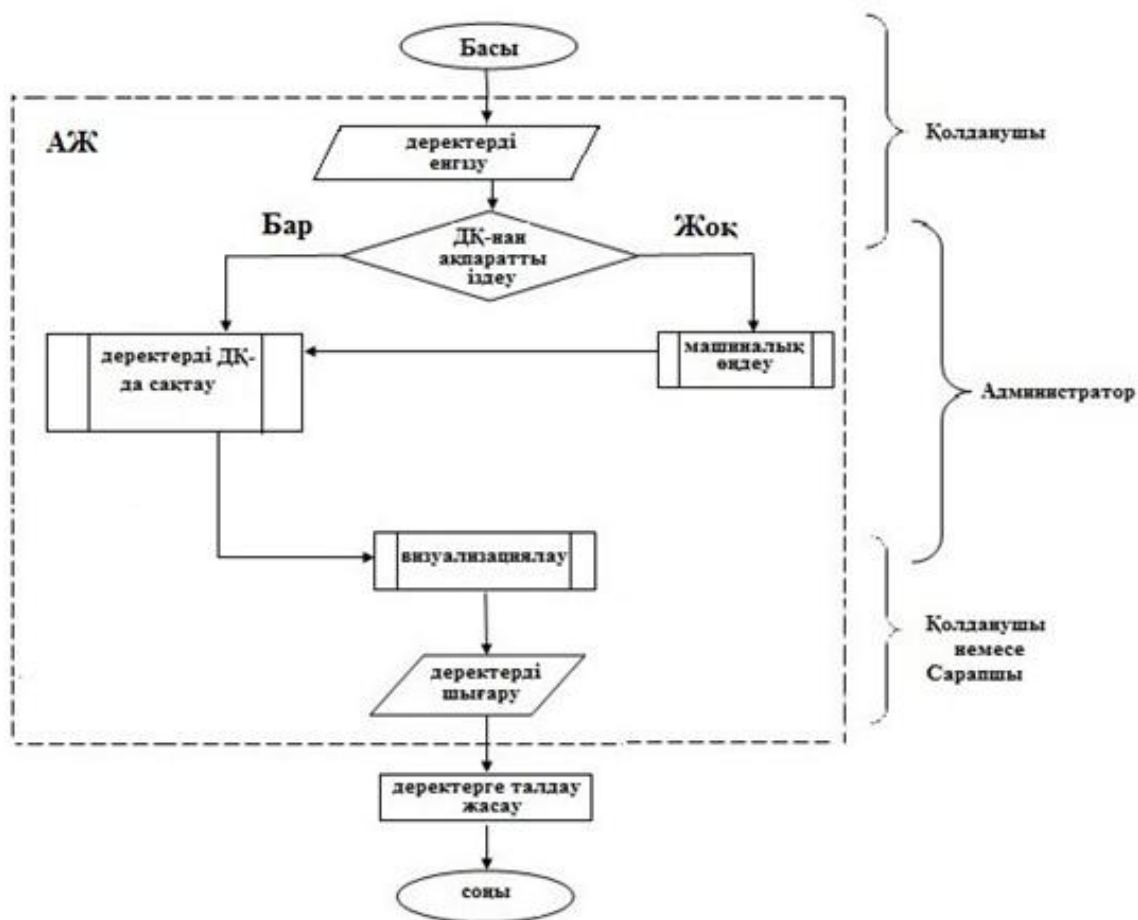
2. Деректерді өңдеу модулі. Бұл модуль деректерді қайта өңдеу блогынан және бөлшектік идеясын қолданатын бисипаттама сандық әдісі негізінде есептеу блогынан тұрады.

3. Деректерді сақтау модулі. Бұл модуль деректерді деректер қорынан іздеу блогынан, деректер қорынан деректерді шығару блогынан және деректер қорына деректерді енгізу блогынан тұрады.

4. Визуализациялау модулі. Бұл модуль екі блоктан тұрады осциллограммаларды бейнелеу блогы және векторлық өрісті бейнелеу блогы. Аталған блоктарда есептің қойылымы бойынша алынған сандық мәндер бойынша жылдамдықтар мен кернеулердің осциллограммалары мен жылдамдықтардың векторлық өрістері салынады.

5. Деректерді шығару блогы. Бұл модуль нәтиже кестесін шығару, графикті шығару және есептерді шығару блоктарынан тұрады.

Құрылған ақпараттық жүйенің жұмыс істеу принципі. Құрылған ақпараттық жүйенің концептуалды моделі шеңберінде ақпараттық жүйенің жұмыс істеу алгоритмі мынадай түрде болады (22- сурет):



Сурет 22 – Ақпараттық жүйенің жұмыс істеу алгоритмі

1) Құрылған ақпараттық жүйемен жұмыс жасауды бастау үшін қолданушыға немесе сарапшыға кіріс деректерін білуі қажет, яғни, материалдың сипаттамаларын білуі қажет.

2) Қолданушы мәліметтерді енгізгеннен кейін жүйе енгізілген кіріс деректері бойынша деректер қорында есептеу нәтижелері бар-жоқтығын тексереді.

3) Егер де қолданушының сұранысы бойынша деректер қорында ақпарат бар болса, онда жүйе деректер қорынан дайын сандық нәтижелерді шығарып береді.

3а) Егер жүйеде қолданушы сұранысы бойынша ақпарат жоқ болса, онда қолданушы жүйенің есептеуге арналған программалық құраушысының көмегімен есептеу жүргізеді.

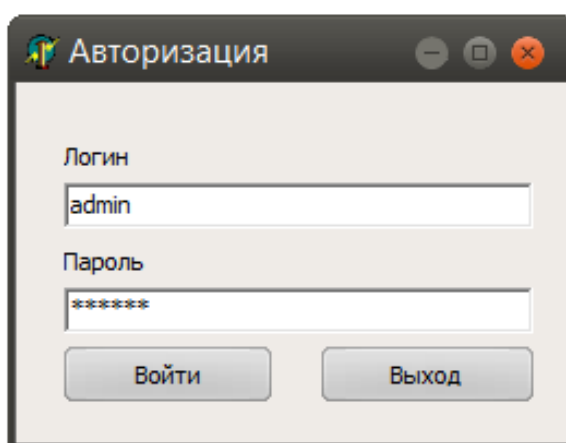
4) Есептеу орындалғаннан кейін, алынған жаңа сандық деректер бірден автоматты түрде ақпараттық жүйенің деректер қорында сақталынады.

5) Алынған сандық деректерді көрнекі түрде көру үшін ақпараттық жүйенің визуализациялауға арналған құраушысының көмегімен әр түрлі графиктерді тұрғызуға болады.

6) Визуализациялауды жүзеге асырғаннан кейін жүйе барлық қорытынды нәтижелерді экранға сандық түрде де, есеп беру түрінде баспаға да шығарып береді.

7) Осылайша, қолданушы немесе сарапшы жүйенің көмегімен алынған сандық және графиктік нәтижелерді талдау және болжам жасау үшін пайдалана алады.

Ақпараттық жүйе қолданушысының нұсқаулығы. Жүйеге кіру үшін алдымен авторизациялаудан өту қажет. Жүйенің қолданушылары екі категорияға бөлінеді: деректер қоры администраторы және сарапшы (23 - сурет).

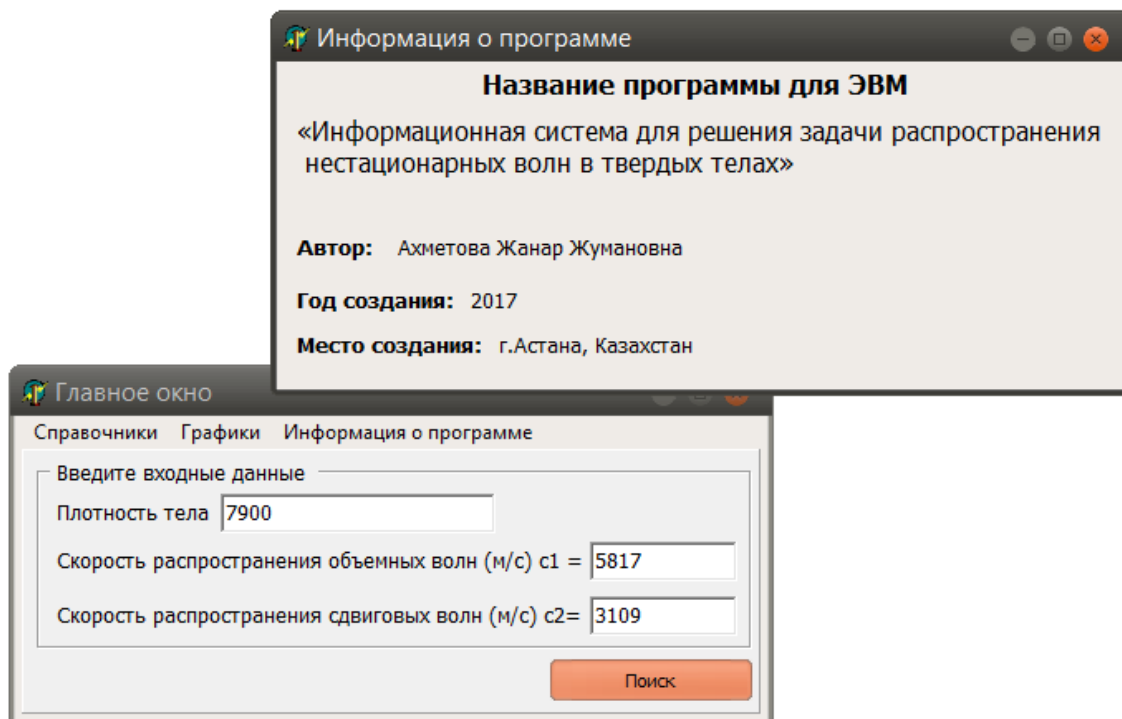


Сурет 23 – Қолданушының авторизациялау терезесі

Жүйеге енгеннен кейін негізгі терезе ашылады. Негізгі терезенің мәзірі анықтамадан, графиктерді тұрғызудан және программа бойынша ақпараттан тұрады. «Анықтамалар» бөлімін таңдау арқылы қолданушы аталған ақпараттық

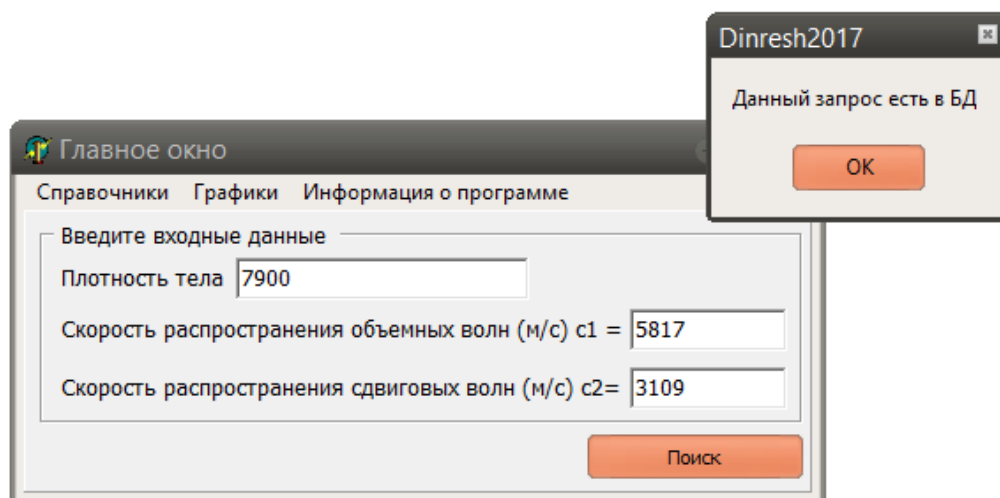
жүйенің пайдалану облысымен, оның міндетімен және осы ақпараттық жүйе шешетін есеп қойылымымен танысуға мүмкіндігі бар.

Негізгі терезеде, сонымен қатар, программа және оның құрастырушысы туралы ақпарат алуға болады (24-сурет).



Сурет 24 – «Программа туралы ақпарат» терезесі

Жүйенің негізгі терезесі мәліметтерді енгізу мен шығаруға арналған. Егер деректер қорында енгізілген мәліметтер бойынша ақпарат бар болса, яғни кіріс мәліметтерімен алдыңғы уақытта есептеу жүргізілсе, онда жүйе «Аталған сұраныс ДҚ-да бар» деген хабарлама шығарып береді (25-сурет).



Сурет 25 – Негізгі терезе

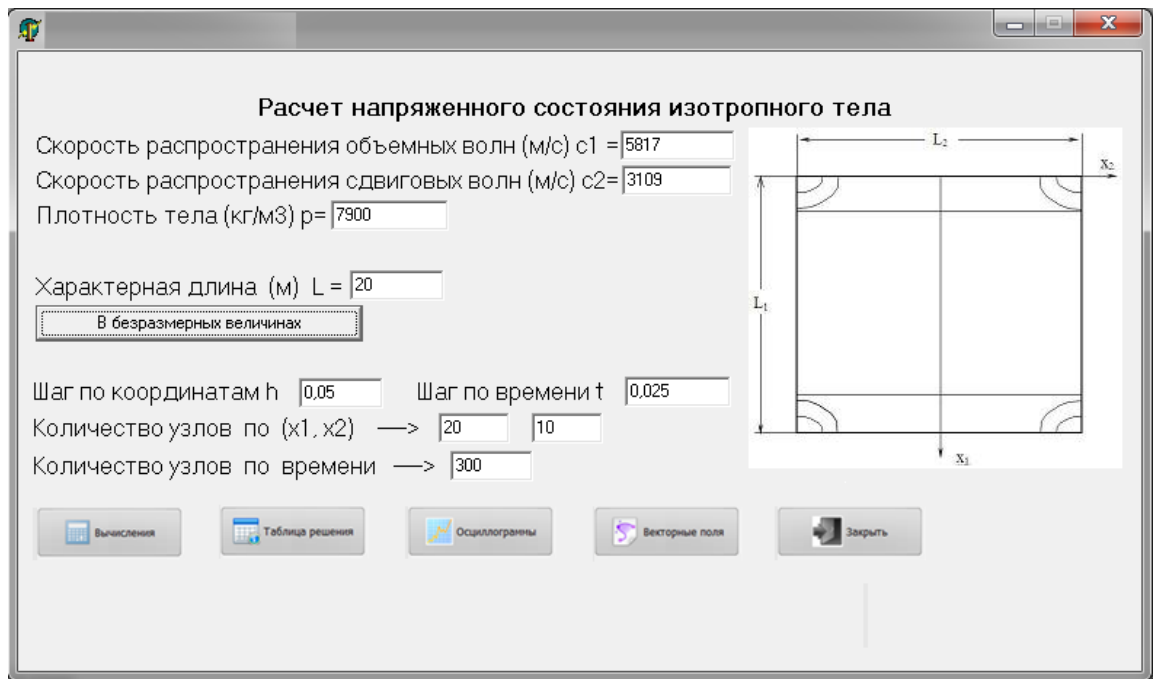
Бұл жағдайда жүйе қолданушыға деректер қорында сақталынған есептің шешімін, яғни сандық мәндермен толтырылған нәтижелер кестесін шығарып береді (26-сурет).

| N_TIME | X1 | X2 | S11 | S12 | S22 | V1 | V2 |
|--------|----|----|----------|----------|----------|---------|----------|
| 1 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 1 | 2 | -0,00914 | 0 | -0,00391 | 0,00914 | 0 |
| 3 | 1 | 2 | -0,0247 | 5E-5 | -0,0106 | 0,02456 | 4E-5 |
| 4 | 1 | 2 | -0,04404 | 0,00027 | -0,01843 | 0,04381 | -0,00051 |
| 5 | 1 | 2 | -0,06495 | 0,00071 | -0,02591 | 0,06487 | -0,0023 |
| 6 | 1 | 2 | -0,0859 | 0,00137 | -0,03202 | 0,08633 | -0,00567 |
| 7 | 1 | 2 | -0,10605 | 0,00221 | -0,0363 | 0,10735 | -0,01065 |
| 8 | 1 | 2 | -0,12506 | 0,00312 | -0,03871 | 0,12757 | -0,017 |
| 9 | 1 | 2 | -0,14292 | 0,004 | -0,03952 | 0,14689 | -0,02433 |
| 10 | 1 | 2 | -0,15972 | 0,00477 | -0,03909 | 0,16539 | -0,03224 |
| 11 | 1 | 2 | -0,17559 | 0,00535 | -0,03778 | 0,18318 | -0,04038 |
| 12 | 1 | 2 | -0,1906 | 0,00571 | -0,03588 | 0,20034 | -0,04847 |
| 13 | 1 | 2 | -0,2048 | 0,00584 | -0,03361 | 0,2169 | -0,05629 |
| 14 | 1 | 2 | -0,2182 | 0,00576 | -0,03107 | 0,23288 | -0,06366 |
| 15 | 1 | 2 | -0,23078 | 0,00548 | -0,0283 | 0,24824 | -0,07041 |
| 16 | 1 | 2 | -0,24255 | 0,00504 | -0,02527 | 0,26298 | -0,07641 |
| 17 | 1 | 2 | -0,25351 | 0,00446 | -0,02193 | 0,27708 | -0,08154 |
| 18 | 1 | 2 | -0,26369 | 0,00377 | -0,0182 | 0,29054 | -0,08572 |
| 19 | 1 | 2 | -0,27313 | 0,00298 | -0,01402 | 0,30338 | -0,08887 |
| 20 | 1 | 2 | -0,28189 | 0,00212 | -0,00936 | 0,31561 | -0,09096 |
| 21 | 1 | 2 | -0,29004 | 0,00121 | -0,00422 | 0,32724 | -0,09198 |
| 22 | 1 | 2 | -0,29766 | 0,00027 | 0,00132 | 0,33827 | -0,09193 |
| 23 | 1 | 2 | -0,30482 | -0,00068 | 0,00717 | 0,34869 | -0,09083 |
| 24 | 1 | 2 | -0,31158 | -0,00163 | 0,01319 | 0,35847 | -0,08872 |
| 25 | 1 | 2 | -0,318 | -0,00257 | 0,01921 | 0,36758 | -0,08564 |
| 26 | 1 | 2 | -0,32411 | -0,00348 | 0,02504 | 0,37598 | -0,08164 |
| 27 | 1 | 2 | -0,32992 | -0,00435 | 0,03052 | 0,38363 | -0,07676 |
| 28 | 1 | 2 | -0,33543 | -0,00516 | 0,0355 | 0,39047 | -0,07106 |

Сурет 26 – «Сандық шешім кестесі» терезесі

Сандық деректер деректер қорында бар жағдайда, «Сандық шешім кестесі» терезесінде қолданушы екі батырманы көреді – «Осциллограммалар» және «Векторлық өрістер». Олардың көмегімен визуализациялаға болады.

Егер деректер қорынан мәліметті іздеу нәтижелері бойынша алдын ала есептеліп, деректер қорында сақталған қажетті сандық шешімдер болмай шықса, онда жүйе есептеу терезесін ашады (27-сурет).



Сурет 27 – Есептеу терезесі

Бұл терезеде қолданушы кіріс мәндерін енгізіп, «Есептеу» батырмасын басады. Осыдан кейін жүйе есептелуді жүргізіп, есептеу үдерісі аяқталғаннан кейін хабарлама шығарады. «Шешімдер кестесі» батырмасын басу арқылы кесте түрінде нәтижелерді көруге болады. Алынған нәтижелер жүйенің деректер қорына сақталынады. Осы терезеде алынған нәтижелер бойынша визуализациялауға мүмкіндік беретін батырмалар орналасқан.

Ақпараттық жүйені жобалауға және құруға қолданылған Case-құралдары. Ақпараттық жүйені визуалды түрде жобалау үшін Microsoft Visio 2010 программалық қосымшасы қолданылды. Ол - визуализациялауға, зерттеуге және күрделі мәліметтерді таратуға көмектесетін диаграммалар мен сұлбаларды құруға арналған программа. Microsoft Visio ортасында түсінуге қиын кестелерді және мәтіндерді қол жетімді сұлбаларға көрнекі түрде түрлендіруге болады. Microsoft Visio қосымшасы IT-ортасын басқару, үдерістерді модельдеу, құрылыс және сәулет салаларын жобалау, қолданушы интерфейсын құру, кадрларды, жобаларды басқару және т.б. сияқты облыстар үшін әр түрлі сұлбаларды құруға арналған заманауи фигуралар мен шаблондардан тұрады.

Деректер қорын жобалау MySQL Workbench 6.2.3 құралы арқылы іске асырылды. MySQL Workbench - деректер қорын жобалауды, құруды және пайдалануға жіберуді интеграциялап, MySQL деректер қоры жүйесіне арналған бір ортаға біріктіретін деректер қорын визуалды жобалау құралы.

Жылдақтардың векторлық өрістерін визуализациялау үшін MathCad қолданылды. MathCad математикалық және инженерлік есептеулерге арналған қосымша, есептеулердің жүргізілуі, таралуы және сақталуының өндірістік стандарты.

Ақпараттық жүйенің өзі Delphi XE программалау ортасында жүзеге асырылды. Delphi программаларды құру ортасы қолданбалы программаларды құратын құралдардың ішіндегі ең танымалы болып табылады. Delphi программалауға өте ыңғайлы болып келеді, себебі, бұл ортада визуалды жобалау да, яғни, программалау ортасы өзіне жұмыстың көп бөлігін алып, программалаушыға диалогтық терезелерді құруды ғана қалдыру идеясын ұстанатын, визуалды жобалау мен оқиғалық программалау технологияларына негізделген программаларды жылдам құру да бар, сонымен қатар, оқиғаларды өңдеу процедурасы, яғни, оқиғалық программалау да бар. Delphi — қосымшаларды жылдам құру ортасы (RAD-ортасы). Delphi XE ортасы Microsoft Windows XP Home немесе Professional (SP2 немесе SP3), Microsoft Windows Vista SP2, Microsoft Windows Server 2003 (SP1) немесе 2008 операциялық жүйелерінде, сонымен қатар, Microsoft Windows 7 жүйесінде де жұмыс істей алады. Программалау ортасы компьютер ресурстарына қойылатын заманауи өлшеулер бойынша ерекше талаптарды қажет етпейді: жиілігі 1,4 ГГц (2 ГГц және одан жоғары болған тіпті жақсы) болатын Intel Pentium (немесе заманауи) класына жататын процессор, жиілігі 1 Гбайт болатын оперативті жады (2 Гбайт және одан жоғары болған тіпті жақсы), қатқыл дискіде 3,75 Гбайт бос орынның болуы (оның ішінде 750 Мбайт Microsoft .NET Framework және Microsoft .NET SDK үшін) [89].

Delphi программалау ортасының негізін Object Pascal программалау тілі құрайды. Object Pascal дегеніміз жоғары деңгейдің қатты типтелген, құрылымдық және объектілі-бағытталған жобалауды сүйемелдейтін программалау тілі. Тілдің жақсы жақтарына - жеңіл оқылатын программалық код, жылдам компиляция, модульдік программалау үшін бірнеше модульдік файлдарды қолдану жатады. Object Pascal программалау тілі Delphi құраушылар құрылымы мен RAD ортасы сүйемелдейтін өзіндік ерекшеліктерге ие.

Ақпараттық жүйенің деректер қоры Paradox ДҚБЖ-де құрылды. Paradox ДҚБЖ - деректер қоры бар программалық қосымшаларды құру құралдары нарығында өзіндік орны бар, танымал жүйе. Paradox-те деректерді сақтау принциптері dBase-те деректерді сақтау принциптеріне ұқсас, яғни, әрбір кесте өз файлында *.db кеңейтпесімен сақталынады, MEMO- және BLOB-өрістері жеке файлда *.md кеңейтпесімен сақталынады. Paradox деректер форматы ашық формат болып табылмайды, сондықтан осы форматтағы мәліметтерге қол жеткізу үшін арнайы кітапханалар қажет.

Paradox-тың алдыңғы нұсқалары деректер қорын құрушыларға кеңірек мүмкіндіктер беретін, мысалы, DOS-қосымшаларда іскер графиктерді қолдану, көп қолданушылық жұмыс кезінде қосымшалардағы мәліметтерді жаңарту, QBE интерфейсы негізінде сұраныстарды құрудың визуалды құралдары, мәліметтерге статикалық талдау жасау құралдары, сонымен қатар, PAL программалау тіліндегі кодты автоматты түрде генерациялауы бар қолданушы қосымшаларының интерфейстерін визуалды түрде құру.

Paradox ДҚБЖ-тің Windows-нұсқалары жоғарыда айтылған қызмет көрсету түрлерінен басқа, басқа форматтағы деректерді де басқаруға мүмкіндік береді,

атап айтқанда, dBase және серверлік ДҚБЖ-де сақталынатын деректер. Paradox-тың мұндай мүмкіншіліктеріне қолданушылар Borland Database Engine кітапханаларын және SQL Links драйверлерін пайдаланудың арқасында қол жеткізе алды. Бұл Paradox-ты әр түрлі деректер қорын басқарудың әмбебап құралы ретінде пайдалануға мүмкіндік туғызды. Paradox 7-тың Database Desktop деп аталатын анағұрлым түрде жеңілдетілген нұсқасы дәл осы мақсатпен әлі де болса Borland Delphi және Borland C++Builder орталарының құрамына кіреді [89].

3 ДЕФОРМАЦИЯЛАНАТЫН БІРТЕКТІ ҚАТТЫ ДЕНЕЛЕРДЕ СТАЦИОНАРЛЫ ЕМЕС ТОЛҚЫНДАРДЫҢ ТАРАЛУ ЕСЕБІНІҢ ШЕШІМІН ВИЗУАЛИЗАЦИЯЛАУ ЖӘНЕ ОҒАН ТАЛДАУ ЖАСАУ

Әр түрлі ғылыми деректерге талдау жасаудың заманауи тиімді әдістерінің бірі - осы деректерді ғылыми визуализациялау тәсілі. Теориялық зерттеулермен қоса, тәжірибелік зерттеулерде де кеңінен қолданылатын ғылыми визуализациялау тәсілі әр түрлі табиғатқа жататын бастапқы деректерге талдау жасау мақсатында қолданылады. Мұндай жағдайда талдаудың мақсаттары да, сонымен қатар, осы мәліметтерді сипаттауға қолданылатын графикалық бейнелер де әр түрлі болуы мүмкін. Ғылыми визуализациялаудың негізгі міндеті - көрінбейтінді көрсету. Көрінбейтіндер ретінде адам көзіне тікелей көрінбейтін, абстрактілік объектілермен қатар, нақты объектілер мен құбылыстарды да алуы мүмкін.

Бұл бөлімде деформацияланатын біртекті қатты денелерде стационарлы емес толқындардың таралу есебінің сандық шешімін визуализациялау, диссертациялық жұмыста қарастырылатын есептің қойылымының шешіміне компьютерлік визуализация көмегімен талдау жасалған.

3.1 Деректерді визуалды түрде бейнелеу. Деректерді визуалды түрде ұсынудың тәсілдері мен құралдары

Деректерді визуализациялау – деректерді оқып-зерттеуде адам жұмысын неғұрлым тиімді түрде қамтамасыз ететін деректерді бейнелеу түрі [90].

Деректерді визуализациялау ғылыми және статистикалық зерттеулерде (дербес жағдайда, жобалауда, мәліметтерге интеллектуалды талдау жасауда, бизнес-талдау жасауда), оқып үйрету және тестілеу мақсатында педагогикалық дизайнда, жаңалықтар легінде және аналитикалық шолу жасауларда кеңінен қолданылады. Деректерді визуализациялау ақпаратты визуализациялаумен, ғылыми деректерді визуализациялаумен, деректердің барлаушылық талдау жасауымен және статистикалық графикамен байланысты.

«Деректерді визуализациялау» және «инфографика» терминдері әдетте синонимді сөздер ретінде есептелінеді, алайда, ақпаратты бейнелеу облысының мамандары осы екі түсінік арасындағы айырмашылықтың барын айтады [91]. Бір көзқарас тұрғысында, деректерді визуализациялау инфографиканың бір бөлімі ретінде қарастырылып, ал инфографиканы деректерді визуализациялаудың, иллюстрациялардың, суреттердің және мәтіндердің бір бүтін хабарламаны беруге арналған комбинациясы ретінде қарастырады.

Екінші көзқарас, шартты түрде осы түсініктер арасында деректерді құру тәсілі, эстетикалық қасиеттері және саны бойынша шектеулер қояды. Осы көзқарас бойынша, инфографика адам қатысуымен құрылған, ұсынылатын ақпаратқа қатысты өзгеше, эстетикасы жоғары және көп деректерді қажет етпейтін деректерді бейнелеу түрі. Керісінше, деректерді визуализациялау алгоритмдік жолмен құрылған, әр түрлі таңдауларға және ұқсас мәліметтер типтері үшін жеңіл жасалынатын, әшекей элементтері болмайтын, бірақ

деректердің үлкен көлемін бейнелейтін ақпаратты бейнелеу түрі болып саналады [92].

XIX ғасырдың бірінші жартысында мәліметтерді графикалық бейнелейтін жұмыстардың саны артты. Ғасырдың ортасына қарай деректерді бейнелеудің барлық негізгі типтері ойлап табылды: бағандық және дөңгелек диаграммалар, гистограммалар, сызықты графиктер, уақыттық қатар графиктері, контурлы диаграммалар және т.б.

XX ғасырда өсу тенденциясы нақты математикаға орынды беріп, төмендей бастады. Соған қарамастан, осы уақытта деректерді бейнелеудің графикалық тәсілдері бойынша оқулықтар мен курстар пайда бола бастады, ал графиктердің өздері тек қана нәтижелерді бейнелеу үшін ғана емес, ақпаратты зерттеу үшін және астрономияда, физикада, биологияда және басқа да ғылым салаларында гипотезаларды дамытуда қолданылды.

XX ғасырдың үшінші тоқсанында визуализациялаудың жаңа айналысы басталды. Оған мынадай үш оқиға сепбепші болды:

- Деректерге барлаушы талдау жасауға арналған Джон Тьюк¹ еңбегінің пайда болуы.

- Жак Бертеннің² «Графикалық семиология» еңбегінің жарық көруі (фр. *Sémiologie graphique*).

- Есептеу машиналары көмегімен деректерді визуализациялауға мүмкіндіктің пайда болуы: тиімді енгізу құралдарының шығуы (қаламұшты графоқұрушының, графикалық терминдердің пайда болуы), сонымен қатар, компьютерге деректерді эргономикалық енгізу құралдарының (кодтаушы планшет, тышқанның) пайда болуы.

Деректерді визуализациялау ішкі жүйесі деректерге интеллектуалды талдау жасаудың сапалы жүйелерінің негізгі құрамдас бөлігі болып табылады, әсіресе, ол ақпараттың үлкен көлемін өңдеуге бағытталған. Бизнес-аналитика жүйелерінде визуализациялауды деректерді өңдеу үдерісінің барлық кезеңдерінде қолдануға болады:

- Бастапқы деректерді визуализациялау. Бұл кезең нәтиженің күтіліммен сәйкес болу деңгейін және мәліметтерге талдау жасауға жарамдылығын бағалауға, заңдылықтар және бастапқы өңдеудің қажетті процедуралары туралы гипотезаларды шығаруға пайдалы болады.

- Өңдеу жүйесіне енгізілген таңдау визуализациясы.

- Бастапқы өңдеу нәтижелерінің визуализациясы.

- Аралық нәтижелер визуализациясы.

- Соңғы нәтижелердің визуализациясы.

Әдеттегі графикалық интерфейстардан өзгешелігі бұл құралдар төмендегідей қасиеттерді қамтамасыз етеді:

- Ықшамдылық (ағылш. *concision*) — әр түрлі типтегі үлкен көлемді сандарды бір мезгілде бейнелеу қабілеті;

¹ Джон Уайлдер Тьюки (John Wilder Tukey) – американдық математик (1915-2000)

² Жак Бертен (Jacques Bertin) – француз картографы, теоретигі (1918-2010)

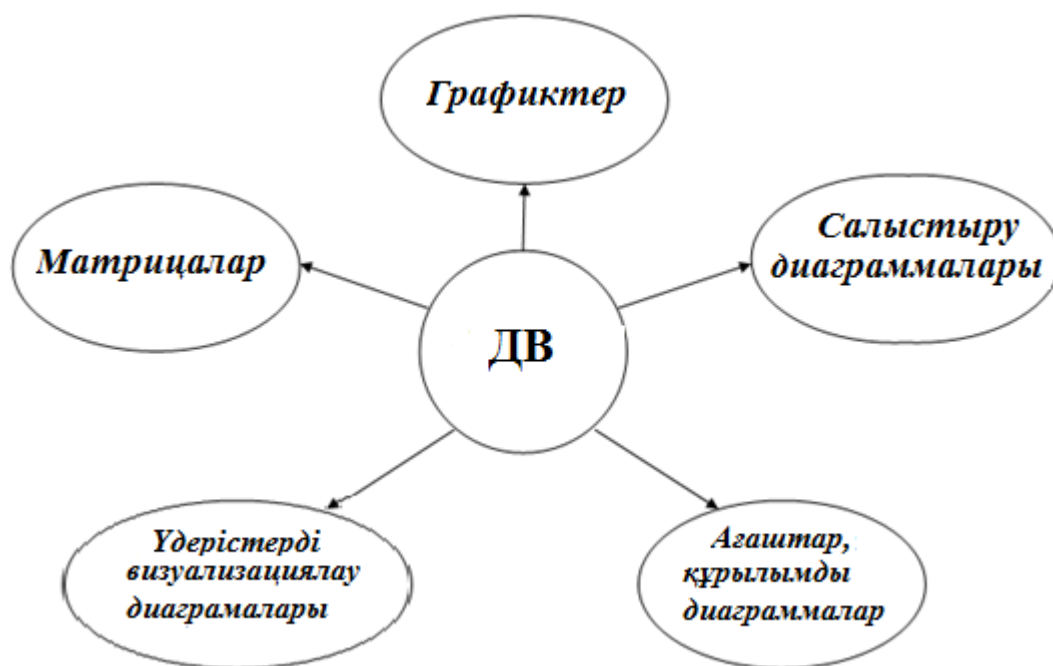
• салыстырмалылық (ағылш. *relativity*) және жақындық (ағылш. *proximity*) — сұраныстар нәтижелерінде кластерлерді, топтардың салыстырмалы топтарын, топтардың ұқсастығы мен айырмашылықтарын, түсіп қалған мәндерін (ағылш. *outliers*) көрсете білу қабілеті;

• концентрация және контекст (ағылш. *focus with context*) — қандай да бір таңдалынған объектінің оның жағдайын және контекстпен байланысын көру мүмкіндігімен өзара байланысының концентрациясы мен контексті.

• ауқымдылық (ағылш. *zoomability*) — микро- және макрокөрініс арасындағы оңай және жылдам ауысу;

• «оң жақтағы жарты шарға» бағытталу – қолданушыға деректермен жұмыс істеудің тек қана алдын ала белгіленген тәсілдерін ғана ұсыну емес, оның заңдылықтар идентификациясының интуитивті, импровизациялық когнитивті үдерістерін сүйемелдеу.

Деректерді визуализациялау мынадай түрлерге бөлінеді: графиктер, салыстыру диаграммалары, ағаштар және құрылымдық диаграммалар, үдерістерді визуализациялау диаграммалары, матрицалар (28-сурет)



Сурет 28 – Деректерді визуализациялаудың классификациясы

1) Графиктер деректердің бір-біріне тәуелділігін көрсетеді. X және Y осьтері бойынша тұрғызылады, үш өлшемді де болулары да мүмкін. Графиктердің мынадай түрлерді бар:

- Сызықты график (*line chart, area chart*) – ең кең таралған жағдай. Осьтер бойынша мәндерге сәйкес нүктелердің жиынын біріктіретін сызық. Мысалы, қолданушылардың бір айда күнделікті сайтқа кіруі. Бірден бірнеше деректер жиынын көрсете алады, мысалы, ең танымал үш парақшаны көрсететін статистика.

- Ыдырау графигі (scatterplot) – осьтер бойынша мәндерге сәйкес нүктелердің шектеулі жиынының таралуын көрсететін график. Нүктелер арасында көбінесе түзетуші қисығы салынады, ол мәндер арасындағы заңдылықты көрсетеді. Мысалы, компанияның 50 қызметкерлері арасындағы жұмыс өтілімі мен еңбек өнімділігінің арасындағы байланыс (жай ғана алынған нүктелерді түзу сызық түрінде қосып шығуға болмайды, мәні де болмайды, сызық та тегіс шықпайды.)

2) Салыстыру диаграммалары мәліметтер жиынының қатынасын көрсетеді. Көптеген жағдайда, ось айналасынан салынады, бірақ ол міндетті шарт емес. Оның мынадай түрлері бар:

- Бағандық диаграмма (bar chart) бір-бірімен салыстыра отырып, бір немесе бірнеше мәліметтер жиының көрсетеді. Бірнеше жиындар бар болған жағдайда бейнелеудің екі түрлі нұсқасы бар: бірнеше қатарлас тұрған бағандар түрінде, не болмаса, іші бірнеше мәндер бойынша сәйкесінше үлестерге бөлінген бір ғана баған түрінде бейнеленеді. Мысалы, соңғы 5 жыл ішінде үш компанияның жылдық пайдасы немесе осы уақыттағы олардың нарықтағы үлесі.

- Гистограмма (histogram) бағандар түрінде таңдау ішіндедегі деректер жиынының таралуын көрсетеді. Мысалы, бірнеше жас ерекшеліктері бойынша топтардағы компания қызметкерлерінің саны.

- Шеңберлі диаграмма (pie chart) бөліктерге бөлінген шеңбер түрінде деректер жиынының ішіндегі әрбір мәннің алатын пайыздық үлесін көрсетеді. Мысалы, ұялы телефондардың нарықтағы үлесі. Бір мезгілде бірнеше деректер жиының бейнелеуге болады, бұл жағдайда диаграммалар бір-біріне жабылады, оның біреуі екіншісінен кіші болады. Мысалы, соңғы 3 жылда ұялы телефондардың нарықтағы үлесі.

- Аудандық диаграмма (bubble chart) – график пен диаграмманың қосындысы, бұл диаграммада мәндеріне сай екі ось бойынша нүкте жиындары қойылады. Нүктелердің өздері қосылмаған және әр түрлі мәндерге ие. Бұл мәндерді үшінші параметр береді. Мысалы, сатып алынған тауарлардың санын, алынған заттың жалпы бағасын және сатып алушының жалпы бюджет мөлшерін салыстыру.

- Дөңгелектік диаграмма (ring chart) кейбір жерлері боялған дөңгелек түрінде деректер жиынындағы мәндердің біреуінің максималды пайызын көрсетеді. Мысалы, максималды мәнмен салыстырмалы түрде чемпионатта жеңген медальдар саны. Әдетте, бірден бірнеше осындай диаграммалар әр түрлі мәндерді салыстыру үшін қолданылады.

- Шашып тастау диаграммасы (span chart) кесілген бағандық диаграмма түрінде деректер жиыны ішіндегі минималды және максималды мәндерді көрсетеді. Бағанның басы горизонталь осьте емес, вертикаль бойымен минимал мәннің нүктесінен басталады. Мысалы, қаланың әр түрлі аудандарында баспананың әр шаршы метрі бағасын шашып тастап көрсету.

- Жапырақты диаграмма (radar chart) әрбіреуі осьтегі нүктеге сай келетін бірнеше мәндердің шамаларын салыстырды. Осьтер саны мәндер санына сәйкес

келеді, ал нүктелер сызықтармен қосылады. Мысалы, компания жұмысының 8 бағытының ішінен әрбіреуінің рентабельділігін салыстыру.

- Тегтер бұлты (tag cloud) мәтін (деректер жиыны) фрагментінің ішіндегі оның әрбіреуіне өзінің шрифтының өлшемін бере отырып, кілттік сөздер мен сөйлемдерді салыстырады. Шрифт өлшемі параметр мөлшеріне тәуелді. Мысалы, 2016 жылдың желтоқсанында газеттерде ең жиі кездескен 25 сөз.

- Жылулық диаграмма (heat map) спектерден алдын ала таңдалынған түстердің бірімен бояй отырып, деректер жиынының ішіндегі мәндерді салыстырады. Негізі ретінде сурет немесе мәндер қойылған басқа диаграмма алынады. Түсі параметрдің шамасына байланысты және де көбінесе дақ ретінде салынады. Мысалы, қолданушылар көбінесе басатын сайттың негізгі парағының элементтері.

3) Ағаштар және құрылымдық диаграммалар деректер жиынының құрылымын және осы элементтер арасындағы өзара байланысты көрсетеді.

- Ағаш (tree) деректер жиынының иерархиясын көрсетеді, ондағы элементтер бір-біріне ата-анасы және ұрпағы болып саналады. Ереже бойынша, төменнен жоғары қарай бір-бірімен сызықтармен біріктірілген түйіндер түрінде тұрғызылады. Мысалы, сайттың картасы.

- Ментальді карта (mind map) әрбір түйіні бір немесе бірнеше ұрпақтық элементтерге ие болатын ағаш түріндегі түсініктің немесе құбылыстың құрамын және құрылымын көрсетеді. Бұл ағаштың дербес түрі, айырмашылығы тармақтар суреттің орталығында орналасқан түйіннен шығады. Мысалы, жобаларды басқару бойынша, оның мазмұнын және негізгі түсініктерін бейнелейтін кітабының конспектісі.

- Формальданған құрылымдық диаграммалар детализациялаудың әр түрлі деңгейімен сипатталатын және бір-бірімен ата-анасы және ұрпағы болып байланысқан карталар түріндегі жүйе және оның бөлімдерінің құрамын және құрылымын көрсетеді. Ол стандартталған түрде сипатталады, мысалы, UML немесе IDEFIX түрінде. Мысалы, программалық жүйенің модульдерінің біреуінің жұмысына қажетті мәндердің барлығы.

- Венн-Эйлер диаграммасы (Venn/Euler diagram) бір-бірінің үстіне салынған шеңберлер түріндегі деректер жиынының мәндері арасындағы қатынасты көрсетеді (көбінесе тек үшеуінің). Барлық шеңберлердің қабаттасқан облысы олардың арасындағы ортақтықты көрсетеді. Мысалы, мерзімнің сақталуы, бюджет пен алға қойылған міндеттердің қиылысуы жобаның жетістікке жетуі болып табылады.

- Жазық ағаш (tree map) элементтері бір-біріне ата-анасы немесе ұрпағы болатын элементтері бар деректер жиынының иерархиясын көрсетеді. Кірістірілген тіктөртбұрыштар жиыны ретінде бейнеленеді, оның әрбіреуі ағаш тармағы, ал тіктөртбұрыштың ішіндегісі ұрпақтық элемент және тармақ болып саналады. Тіктөртбұрыштар бір-бірінен параметрлердің мөлшері бойынша ажыратылады және басқа параметрдің беретін түсіне боялады. Мысалы, компания бюджетінің детальдық құрылымы, онда әрбір пункттің өткен жылғымен салыстырғандағы өзгеріс пайызы түспен көрсетіледі.

4) Үдерісті визуализациялау диаграммасы әрекеттердің тізбегінен тұратын үдерісті көрсетеді. Оған бір немесе бірнеше оқиғалардың өрбуі кіруі мүмкін.

- Формальданған блок-сұлба (block diagram) бір-бірімен бір жаққа бағытталған бағыттауыштармен қосылған блоктар түрінде үдерістің жүріп өтетін барлық кілттік қадамдарын көрсетеді. Стандартталған форматта бейнеленеді, ондағы блоктың түрі оның үдерістегі алатын орнына байланысты болады. Мысалы, баспа ішінде мақаланы бекіту және баспаға шығару үдерісінің сұлбасы.

- Формальданбаған блок-сұлба (block diagram) бір-бірімен бағыттауыштармен қосылған блоктар түрінде үдерістің жүріп өтетін барлық кілттік қадамдарын көрсетеді. Еркін формада бейнеленеді, онда қадамдар қалауымызша алынған фигуралармен сипатталады, ал бағыттауыштар екі бағытта да немесе тіпті бағыты болмауы да мүмкін. Сонымен қатар, блоктар топтарға біріктірілуі мүмкін. Мысалы, SMS-төлемдер кезінде қаражат айналымының оңайландырылған сұлбасы.

- Циклдық үдеріс диаграммасы қайталанатын әрекеттер жиынынан тұратын үдерістің кілттік қадамдарын көрсетеді. Циклдық бөлік бағыттауыштармен қосылған қадамдарды кұрайтын дөңгелек түрінде бейнеленеді. Үдерістің басы мен соңы шеңберге кіретін және одан шығатын бағыттауыштар түрінде болады. Мысалы, программалық өніммен жұмыс жасау кезіндегі сапаны тексеру үдерісінің тізбектілігі.

- Сэнки диаграммасы (Sankey diagram) үдерістің кілттік қадамдарын және оның әрбір бөлікте өту қарқындылығын көрсетеді. Түйінсіз, әр түрлі қалыңдықтағы, бірігетін және тармақталатын сызықтармен байланысқан түрде бейнеленеді (қалыңдық параметріне тәуелді). Бастапқы және шеткі нүктелерінің саны кез келген болады, ал бұл дамудың көптеген сценарийлері бар деген сөз. Мысалы, ЖЭО-дан бойлерлік станцияларға жылудың берілу үдерісі, бұл жағдайда әр түрлі себептермен жылудың жоғалуы да есепке алынады.

5) Матрицалар деректер жиынының ішінде кесте түріндегі мәндерді бір-бірімен салыстырады.

- Кесте (matrix) жолдар мен бағандарды түзетін ұяшықтарды мәндермен толтыратын деректер жиынын көрсетеді. Әрбір бағанға және жолға параметрлер сәйкес келеді, ол мән үшін нақты ұяшықты анықтайды. Мысалы, компанияның әрбір жылындағы оның бөлімдеріндегі бюджет.

- Күнтізбе – кестенің дербес түрі. Ай нөмірі мен апта күні бойынша күнтізбе.

Деректерді ұсыну мақсаты бойынша визуализациялау презентациялық және зерттеу болып бөлінеді.

Презентациялық визуализациялау белгілі бір аудиторияға мәліметтерді ұсынуға арналған (мысалы, ғылыми жұмыс, баяндама шеңберінде, немесе жаңалықтарға аналитикалық шолу жасауда).

Зерттеу визуализациясы деректер жиынындағы заңдылықтарды анықтау мақсатында оған талдау жасауға және өңдеуге арналған.

Деректерді визуализациялаудың гибриді презентациялық-зерттеу түрлері де болады. Бұл жағдайда, мақсат ақпаратты таныстырумен болып табылады, алайда, адамға көрсетілген деректер жиынын интерактивті элементтер көмегімен толығырақ зерттеуге мүмкіндік беріледі.

Ғылыми визуализациялаудың дамуы. Есептеу техникасының және математикалық модельдеудің қарқынды дамуы жаңа ғылыми пәннің, ғылыми визуализациялаудың (scientific visualization) дамуына себепкер болды. Білімнің, ғылымның және инженерлік технологиялардың көптеген облыстарында сұранысқа ие ғылыми визуализациялаудың жеке пән ретінде дамуы екі онжылдық уақытты алды. Ол тәсілдердің, алгоритмдер мен сандық мәліметтерді визуалды түрде бейнелеу әдісінің дамуының әр кезеңі ғылым мен техниканың нақты сұраныстарына жауап ретінде болып отырғанымен түсіндіріледі. Аталған даму шығарылатын есептің күрделілік деңгейімен, есептеу техникасының даму деңгейімен, математикалық әдістің даму деңгейімен сай келеді. Бір мезгілде сандық мәліметтердің визуалды түрде бейнелеу концепциясы да дамытылды. Ол сәйкес мерзімде ғылым мен техниканың когнитивті деңгейі мен қажеттіліктеріне сай келетін.

Ғылыми визуализациялау дегеніміз - компьютерлік графиканың көмегімен ғылыми зерттеулердің нәтижелерін визуалды түрде бейнелеу. Ғылыми визуализациялау сандық түрде берілген ғылыми зерттеулердің нәтижелерін визуалды бейнелерге түрлендіреді. Сандық деректерді визуалды түрде бейнелеу ақпаратпен жұмыс істеуді жеңілдетеді және осы ақпаратпен алмасуды да оңайлатады. Бірақ та оның негізгі мақсаты - көрінбейтінді көрнекі ету, басқаша айтқанда, көрінбейтінді көру. Көрінбейтінді көру тіпті компьютерлердің шыққаннан бұрынғы уақытта да, барлық кездерде ғалымдарды қызықтыратын. Физикадағы, сұйықтықтар мен газдар механикасында, серпімділік теориясында жүргізілетін тәжірибелердің басым бөлігінің мақсаты құбылыстың тек сандық сипаттамаларын ғана өлшеу емес, сонымен қатар, физикалық құбылыстарды көрінетін етіп, оларды көру де болатын.

Компьютерлердің және сандық тәжірибелердің пайда болуынан әлдеқайда бұрын физикалық тәжірибелердің нәтижелерін алу мәні тәжірибелік құралдың жұмыс істеуінің көрініс ағынына талдау жасауға негізделген болған. Математикалық модельдеу пайда болғаннан бұрын тәжірибелердегі физикалық визуализациялау негізгі ақпарат көзі болып есептелген. Сандық тәжірибенің пайда болуы және дамуынан кейін физикалық тәжірибе сандық зерттеулердің негізгі бақылау құралы және верификациясы болып қалды.

Компьютерлердің пайда болуы зерттелетін физикалық құбылыстың немесе үдерістің математикалық моделінде қолданылатын теңдеулерді сандық шешуге негізделген есептеу тәжірибелерін жүргізуге мүмкіндік туды.

29-суретте көрсетілгендей, визуализациялау дегеніміз - компьютерлік бейнелерінен бастап, адамның қабылдауына дейін деректерді бейнелеу үдерісі. Қолданушының мақсаты физикалық құбылысты немесе математикалық түсініктерді тереңінен түсіну болып табылады [44].



Сурет 29 – Визуализациялау үдерісі

Ғылыми визуализациялаудың және компьютерлік графиканың нақты пайда болуы XX ғасырдың екінші жартысында графоқұрастырғыштардың пайда болуымен байланысты. Бұл сандық деректердің визуалды түрде бейнелеудің программалық құралдарының дамуын тудырды. Нақты осы уақытта Графор, СМОГ, GINO 3D, Plot10 сияқты графикалық программалар пакеті пайда бола бастады. Осыдан бастап ғылыми және құрастыру жұмыстарының нәтижелерін визуалды түрде бейнелеуге мүмкіндік беретін программалық камсыздандудың дамуы басталды.

Айта кететін жайт, Кеңес заманында ғылым мен техниканың дамуында Ресей ғылым академиясының М. В. Келдыш атындағы қолданбалы математика институтында Ю.М. Баяковскийдің³ басшылығымен құрылған Графор программалық кешенінің алатын орны ерекше. Кітапханалар түріндегі программалық кешен білікті қолданушыға екіөлшемді нәтижелерді және функциялардың бірөлшемді графиктерін визуалды түрде бейнелеуге арналған бастапқы құралдарына қол жеткізіп қана қоймай, сонымен қатар, осы кешен негізінде өзіндік баптау жасап, әр түрлі білімдер саласындағы есептердің кең көлемін шешуге мүмкіндігі бар. Алайда, уақыт өте келе есептеу техникасының дамуына және шешілетін есептердің күрделенуіне байланысты оны алдымен есептеп, сонан соң бейнелеу өнерін қолдануға болмайды. Осыдан сандық деректерді визуалды түрде бейнелеуді пайдалану және дамыту көптеген басқа да білімдер облыстарына қажетті жеке ғылым тармағы екендігі түсінікті болды.

Ғылыми пән ретінде ғылыми визуализациялаудың қалыптасуы 1987 жылдан басталады деп есептеу келісілген. 1980-жылдардың ортасына қарай АҚШ та бірнеше суперкомпьютерлердің орталықтары ашылды.

Осы уақыттағы бар визуалды түрде бейнелейтін құралдар суперкомпьютерлердің өндіретін деректерінің үлкен массивтерін өңдеуді, оларға талдау жасауды және қабылдауды қамтамасыз ете алмады. 1987 жылы АҚШ-тың Ұлттық ғылыми қорының (NSF) сүйемелдеуімен және IEEE Computer Society қоғамының бастауымен ғылыми деректерді визуалды түрде

³ Ю.М. Баяковский - физ.-матем.ғылым.канд., компьютерлік графика саласымен айналысқан ғалым (1937-2014)

бейнелеу мәселесін көтерген пікір-талас өткізілді және бұл шарада ғылыми визуализациялаудың негізгі міндеттері мен бағыттары тұжырымдалды. Осы жылы АҚШ-тың Ұлттық ғылыми қоры визуализациялау жүйелерін құру жөніндегі ViSC ұсынысын жариялады[43]. Осы оқиғалар ғылыми визуализациялаудың дамуына бастау салды.

Заманауи кезеңде компьютерлік техника құралдарының дамуымен параллельді түрде есептеу физикасының есептері де күрделенді. Оларға күрделі геометрияға ие, әр түрлі физикалық және математикалық модельдердің бірігуі болып табылатын, екіөлшемді және үшөлшемді стационарлы емес есептер жатты. Математикалық модельдер күрделі құрылымдалмаған торларға бөлінген түрде жүзеге асуы мүмкін. Әсіресе, құбылыстарды, үдерістерді, құрастырушы параметрлерді және т.с.с. оңтайландыруды мақсатқа алатын кері есептерді шешудің алгоритмдері ерекше мағынаға ие болады. Бұл есептер математикалық физика есептерін сандық шешу үдерістерінде визуализациялаудың алатын орнына жаңа талаптар қойды.

Деректерді визуалды түрде бейнелеу концепциясының дамуы. Есептеу құралдарының және математикалық тәсілдердің дамуымен параллельді түрде сандық деректердің визуалды бейнеленуі қоса дамыды. Есептеу техникасы мен қолданбалы облыстарда негізінен екіөлшемді есептер қарастырылған кезеңдерде осындай есептердің сандық шешімдерінің визуалды бейнеленуінің концепциясы қарапайым болды. Оны мынадай түрде тұжырымдауға болды. Есептеу нәтижелерінде алынған деректер скалярлы немесе векторлы шамалардың екіөлшемді өрістері түрінде болды. Бұл екіөлшемді өрістер сәйкесінше программалық құралдарының көмегімен бейнеленеді. Скалярлы өрістер изолиниялар түрінде немесе изолиниялар арасындағы кеңістікті түстермен бейнелеу болып табылады. Векторлы өрістер векторлық шамаларға сәйкес келетін өзінің ауқымдылығымен және бағытымен бағыттауыштар түрінде, сонымен қатар, ток ағымдарымен бейнеленеді. Белгілі бір уақытта бұл концепция қолданбалы мақсаттарды және міндеттерді қанағаттандырды. Визуалды бейненің ары қарайғы детализациясы осы концепция шеңберінде әр түрлі комбинациялардың арқасында мүмкін болады.

Бұл концепцияның кемшілігі - ғалымдардың, құрастырушылардың, инженерлердің және визуализациялау құралдарын құрушылардың ұжымдары жекелеме жұмыс істеуі. Ол дамуға айтарлықтай бөгет жасады.

Екіөлшемді деректерге талдау жасауға арналған визуализациялау жүйелерін құрудың негізгі принциптері еңбекте сәтті тұжырымдалған. Сонымен қатар, осы еңбекте қажетті осы сияқты визуализациялау жүйелерінің функционалды мазмұны келтірілген.

Алгоритмдердің және екіөлшемді деректердің есептері күрделенуі кезінде жоғарыда айтылған концепцияның шеңбері тарыла бастады. Екіөлшемді деректермен жұмыс жасаудың мүмкіндіктерін кеңейту қажет болды.

Екіөлшемді скаляр өрісті $F(x,y)$ үшөлшемді бет түрінде бейнелеу есептеу деректерінің құрылымын толықтай көрсете алмады. Екіөлшемді концепцияның шеңберін кеңейту мақсатында екіөлшемді мәліметтерді квазиүшөлшемді визуалды бейнелеудің бірнеше тәсілі ұсынылды. Осьтік симметриялы есептер

үшін псевдоүшөлшемді бейнелеудің мынадай нұсқасы келтіріледі: екіөлшемді тордан үшөлшемді айналыс фигурасын құрып, осылайша, екіөлшемді есептің үшөлшемді көрінісін алады. Есептің екінші шешімі уақыт осіне перпендикуляр түрде әр түрлі уақыт моментінде алынған екіөлшемді көршілес қималардың жиынын орналастырып, уақыт бойынша көршілес қималардың изосызықтарын біріктіріп, қандай да бір квазиүшөлшемді суретті алуға болады.

Негізгі қиындық осындай тәсілдерді практикалық түрде іске асыру не абсолют физикалық емес, жасанды суретті, не жол, артық шамадан тыс жинақталмаған ақпаратты өндіруінде болды.

Есептердің көбі үшөлшемді және стационарлы емес болған уақытта ғылыми визуализациялауда екіөлшемді деректерді визуалды бейнелеудің үшөлшемді жағдайға автоматты түрде көшірудің шынайы әрекеті орын алды. Үшөлшемді стационарлы емес үдерістерді визуалды түрде бейнелеудің де өзіндік ерекшелігі болды және бірден бірнеше мәселелердің бетін ашты.

[52] жұмыста есептеу аэрогазодинамикаға арналған үшөлшемді стационарлы емес есептердің сандық шешімдерін визуалды бейнелеудің дәстүрлі әдістері жазылған. Модельденетін стационарлы емес үдерістің үшөлшемділігі нәтижелерді визуалды түрде сипаттау үшін айтарлықтай қиындықтар туғызады, әсіресе, есептегіште ағыстың болмысы туралы априорлы ақпарат болмаған жағдайда. Үшөлшемді есептердің шешімін бейнелеу үшін графикалық бейнелеудің аралас алгоритмдерін және әдістерін қолдану қажет, әйтпесе, ағыстың сапалы суретін түсінуді қамтамасыз ету күрделі.

Визуалды бейнелеудің екіөлшемді концепциясын автоматты түрде үшөлшемді жағдайға көшірудегі шектеулерді еңсеру әрекетінде нақты есептер класына бағытталған есептеу кешендері құрылды. Бұл кешендерде ғылыми визуализациялаудың модульдері бар. Оларда визуалды бейнелеудің барлық мүмкін болатын құралдары мен осы құралдардың барлық мүмкін болатын комбинациялары шоғырландырылған.

Бұл әдісті жүзеге асырудың мысалы ретінде гидродинамиканың стационарлы емес есептерін 2D және 3D модельдеуіне арналған жүйені қарастыруды алуға болады [94]. Осы жүйенің ортасында шекаралық беттердің, изобеттердің бейнелердің сапалы рендерингі бар есептеулері сипаттайтын күрделі композициялық сахна жүзеге асады. Құрылымды есептеу торлары, изосызықтар, 2D графиктер, векторлық өрістерді көрсететін қиманы құру мүмкіндігі жүзеге асырылған. Күрделі ағыстардың топологиясын анықтауға арналған бақылау көлеміндегі маркерлердің тректерін есептеу мүмкіндігі жүзеге асырылған. Сұйық бөлшектердің маркерларын қолдану сұйықтық ағынының қозғалысын жергілікті ерекшеліктерін ерекшелей отырып, анимациялауға мүмкіндік береді.

Осыған ұқсас жүйелердің әр түрлі есептер класындағы қарқынды дамуына карамағанда, олар есептеу техникасы мен есептеу тәсілдеріндегі ары қарайғы дамуында туындаған көптеген мәселелерді шеше алмады. Визуалды бейнелеудің барлық бар құралдарын жүзеге асыруға деген ұмтылыс көбінде бейнелердің ақпараттық шамадан тыс болуына әкелді. Бұл көрнекі мәнерлілігі

мен тартымдылығына қарамастан визуалды бейнелердің ақпараттық құнын төмендетті.

Есептеу деректерінің дамуына негізделген жаңа есептер мен сандық әдістер деректерді визуализациялаудың жаңа бағыттарын қажет етті. Алайда, бұл талаптар бұрынғы визуализациялау концепцияларының шеңберінде қанағаттандырылмады. Практикалық және конструкторлық есептерді шешу үшін ағыс өрісін стандартты бейнелеумен модельдеу және визуализациялау жеткіліксіз болды. Практикалық есептерде конструкторлық мақсатпен анықталатын, зерттелетін есептер класына арналған нақты параметрлер маңызды. Осы параметрлерді визуалды түрде бейнелеу және қандай да бір шарттардың өзгеруіне тәуелді өзгерісін бақылау қажет. Ережеге сай, практикалық есептің мәні көптеген мүмкін болатын нұсқалардың арасынан қажеттісін анықтау болып табылады. Көптеген жағдайларда мұндай есептер оңтайландырылған түрде қойылады. Визуалды бейнелеудің стандартты жүйелері беретін ақпарат практикалық қолданысы бойынша бір жағынан шамадан тыс болса, екінші жағынан жеткіліксіз де болады.

Скаляр және векторлық өрістерді графикалық түрде сипаттау сияқты ғылыми визуализациялау туралы стандартты ұғымнан алшақтап, жаңа визуалды концепциялар қажет болды. Заманауи ғылыми зерттеулер мен инженерлік технологиялардың нақты мұқтаждықтарын қамтамасыз етуге арналған жаңа бағыттар қажет болды.

Деректерді визуалды бейнелеудің тәсілдеріне және құралдарына шолу жасау. Визуализациялауға әр түрлі жаңа жолдардың дамуы әр түрлі бағыт бойынша дами бастады. Сандық деректерді визуалды түрде бейнелеудің заманауи тәсілдерін шарттылықтың белгілі үлесі бар екі топқа бөлуге бөледі:

- визуалды бейненің мәнерлілігін жоғарылатуға негізделген тәсілдер, яғни, «Мәнерлілік әдісі»;

- деректерге талдау жасау әдісіне негізделген әдістер, яғни, «Деректерге талдау жасау әдістері».

Жеке топқа есептеу техникасының соңғы он жылдықта қарқынды дамуымен байланысты бағыттарды бөліп көрсетуге болады. Бұл құбылыс деректерді визуалды бейнелеудің жаңа мүмкіндіктерін ашады, бірақ сонымен қатар, жаңа мәселелерді де тудырады. Аталған бағыттар алдында құрылған тәсілдерді, алгоритмдерді, программалық құралдарды жаңа есептеу техникасына пайдалану мүмкіндігін ұйымдастыруға негізделген. Ережеге сай, бұл бағыттар тобында визуалды бейнелеудің жаңа концепциялары мен тәсілдері жоқ, бірақ белгілі тәсілдерді жаңа техникаға бейімдеуге ұмтылады.

Мәнерлілік әдісі. Сипатталатын тәсілдер тобы бір ортақ қасиетке ие – олар нәтижелі бейненің мәнерлілігін жоғарылату көмегімен визуалды бейнелеудің мәселелерін шешуге арналған. Бейненің мәнерлілігін арттырудың тиімді тәсілі [95] жазылған. Мұнда көлемінде өзгермелі кеңістіктік-уақытты құрылымды сұйықтықтың ағысын визуализациялау мәселелері қарастырылады. Горизонталь беттердегі жергілікті жылуалмасуы бар қуыстағы сұйықтықтың еркін конвекциясы туралы есебі қарастырылады. Ғылыми визуализациялаудың іргелі мәселелердің шешіміне анимацияның бірігуімен ағыстың құрылымды

элементтерін ерекшелеу арқылы қол жеткізіуге болады. Сұйықтықтардың ағысын визуализациялау үшін қозғалыстың өзін көрсетуге мүмкіндік беретін жасанды беттерді енгізу қажет екендігі аталып өтіледі. Қарастырылған ағыста мұндай бет ретінде нейтралды температураның изобеті алынады. Жарықтың қарқындылығы мен температурасы арасындағы сызықты емес тәуелділікті пайдалану суық және жылы сұйықтықтармен толтырылған облыстар арасындағы шекараны нақты түрде ерекшелеуге мүмкіндік береді.

Векторлық өрістерді визуалды түрде ұсынудың тәсілдері арасында маңызды бағыт объектілік кеңістікте маркерлердің жиынының қозғалысын визуалды түрде бейнелеуге негізделген, көпжиілікті анимациялық тәсіл (КЖА-тәсіл) болып табылады. [96] жұмысында векторлық өрістерді визуалды түрде сипаттаудың КЖА-тәсілдерін жүзеге асыруға деген бірегей бағыт жазылған. Өз қалауымызша таңдалынатын формадағы есептеу облысы қарастырылады. Облыс ішінде қандай да бір ережеге сай нүктелердің шектік жиыны беріледі, олардың әрбіреуіне сәйкесінше маркер қойылады. Бұл нүктелер - маркерлердің пайда болуы. Аталған бағытта маркер өзінің пайда болған нүктесімен, өмір уақыты және өмірлік көлемімен анықталынған. Әр түрлі КЖА-тәсілдерінің көпшілігін маркерлердің параметрлерін ұсынудың өзгермелі ережелері бар, жоғарыда көрсетілген бағыттың дербес жағдайы ретінде қарастыруға болады.

Визуалды бейнелердің мәнерлілігін күшейтетін тағы бір маңызды бағыт ЛИС-тәсілге негізделген текстуралық тәсілдер (Line Integral Convolution). Екіөлшемді және үшөлшемді векторлық өрістерді визуалды бейнелеуге арналған ЛИС-тәсілдің және оның модификацияларының негіздері [92]- де толығымен сипатталған. Мәнерлі және көпфункционалды ЛИС-тәсіл үшөлшемді облыстағы тоқтың желілері мен құбырларын салуда сәтті қолданылады, осылайша олар үшөлшемді тереңдікпен өзара қабаттасатын тоқ желілеріне бағытын елестетуге көмектеседі. Тоқ желісінің қалыңдығы мен түсінің комбинациясы бар үйлесімділікте аталған тәсіл үшөлшемді ағыс сипатын елестетуді жақсартады. Ағыс бағыты бойымен бағытталған текстураларды олардың анимацияларымен бірге пайдалану ағыс туралы жеткілікті түрде толық ақпаратты тасымалдауға мүмкіндік туғызады [97].

Бейнелердің сыртқы мәнерлілігі мен көзге көрінбейтін артықшылықтарына қарамастан, сандық шешімдердің жіңішке топологиясының зерттеулерінде мәнерлілік әдістері күні кешеге дейін визуализациялаудың заманауи коммерциялық программалық пакеттерінде пайдаланылмады. Оған себеп мәнерлілік тәсілі арқылы алынған визуалды бейнелеудің нәтижелері сыртқы мәнерлілігіне қарамастан, өздіктерінен жоғарғы ақпараттық құндылыққа ие болмауы мүмкін. Басқа тәсілдер мен бағыттардың үйлесімділігі осы сияқты тәсілдердің ақпараттылығын айтарлықтай жоғарылатуы мүмкін.

Деректерді талдау тәсілдері. Сипатталған тәсілдер тобында бір ортақ қасиет бар, ол – препроцессингілік, параллельдік есептеу көмегімен немесе деректердің негізгі өрісіне қосымша талдау жасау арқылы жаңа нәтижелерге қол жеткізу. Мұндай бағыт білімдерінің басқа облыстарында белгілі және құрылған қуатты математикалық аппаратты қолдануға мүмкіндік береді. Визуалды бейнелеудің осындай концепциясының мәні былайша

тұжырымдалады: визуалды бейнелеу үшін деректердің негізгі өрісін алу; осы өріске қосымша талдау жасау және оны өңдеу; қосымша талдау жасау мен өңдеу нәтижесі ретінде жаңа ақпаратты алу; алынған жаңа ақпаратқа және деректердің негізгі өрісіне визуализациялау тәсілдерін қолдану. Осыған ұқсас концепцияны пайдаланудың әр түрлі формалары және тәсілдері бар және әр түрлі бағыттарда жүзеге асырылады.

Деректерді талдауға негізделген тиімді әдіс [98] жұмысында келтірілген. Скаляр өрісті визуалды бейнелеу кезінде рендік бояу көмегімен түстер палитрасына берілген скаляр шаманың өзгеру диапазонының сәйкестігін орнататын заң көрсетіледі. Осы заңның сызықты берілуінде шешім туралы ақпараттың айтарлықтай бөлігін жоғалтып алуға болады, әсіресе, тар аймақтардағы шамалардың қатты өзгеріс облыстарын. Мұндайды болдыртпау үшін бейнеленетін шаманың мәндерінің таралуына сәйкестіктің жаңа заңын анықтау мақсатында статистикалық талдау жасалынады. Ол құнды ақпаратты жоғалтпай алынған шешімді визуалды түрде бейнелеуге көмектеседі.

Математикалық физика есептерін шығару үдерісі кезінде алынған деректер өрісіне бейнелерді өңдеу алгоритмдерін қолдануға негізделген, шешімдегі құрылымдарды ерекшеленудің басқа тәсілі [99] жұмысында жазылған. Аталған бағыттың мақсаты газодинамикалық ағыстың қатты алшақтық құрылымын алуға арналған жүргізілген газодинамикалық ағысты сандық модельдеудің нәтижелерін өңдеуді автоматтандыру болып табылады. Бұл бағытта газодинамикалық функциялар бейненің қарқындылығы ретінде, ал әрбір нүктедегі функцияның мәндері бейне элементтері (пиксельдер) ретінде қарастырылады. Төмен түсу детекторы қолданылады және үзілулерде орындалатын газодинамикалық қатынастардың дискретті аналогтары көмегімен табылатын үзілудің классификациясы жүргізіледі. Баяндалған бағыт шешілетін есептің нақты түріне тәуелді болмайды және ағыс туралы еш априорлы ақпаратты қажет етпейді. Ол нәтижелерді өңдеуді жеделдетеді және алынатын нәтижелердің интерпретациясының объективтілігін жоғарылатады.

Бұл бағыт қуатты заманауи вейвлет-талдау жасау математикалық аппаратын қолданумен ары қарайғы дамуға ие болды. [100] жұмысы газодинамикалық өрістердің, соғу толқындары, әлсіз және контактілік үзілулер, сингулярлылығын ерекшелеу мен классификациясына арналған.

[100] бастапқы газодинамикалық өрістерді алынған коэффициенттерге талдау жасай отырып, вейвлетті базистер бойынша орналастыруға негізделген. Кеңістіктік-уақытты құрылымдарды маңызды зерттеудің бірі циркуляцияланған ағыс аймағына талдау жасау болып табылады. Стационарлы емес есептерде циркуляциялық аймақтың болуы ғана емес, сонымен қатар, құйынның пайда болу, даму және жойылу үдерісін уақыт бойынша қадағалау қажет. [101] жұмысында жылдамдық құраушысы матрицасының якобиананың өзіндік мәндеріне талдау жасауға негізделген есептеу облысындағы құйынның орталығын анықтау және қадағалау жазылған. [102] еңбекте баяндалған тәсіл тұтқыр ағыстар жағдайына жалпыланған және ағыстың тұтқыр ағынымен өзара әсерлесу туралы есептегі циркуляциялық аймақтарды зерттеуге қолданылады. Модельдеу үдерісіндегі құйындар орталықтарының трассировкасы ағыстың

эволюциялық суретіне бақылау жасауға мүмкіндік береді. Аталған бағыт [47] еңбегінде жазылған. Бұл еңбек топологиялық тәсілдер көмегімен күйінды ағыстарды визуализациялауды және зерттелетін үдерістерге талдау жасауды зерттейді. Ал бұл ағыстың критикалық нүктелерін қадағалауға, ағында күйіндардың пайда болу және жойылу үдерістерін бақылауға мүмкіндік береді.

[103] еңбекте нәтижелердің негізгі өрісінің параметрлеріне ғана визуалды бейнелеуді жүргізбейді, сонымен қатар, біріктірілген есептерді шешу кезінде біріктірілген параметрлерді визуалды ұсынудан шығатын жаңа ақпаратты алады. Ағысты басқару, ағыстың идентификациясы есептерінде біріктірілген параметрлер бүтін функционал градиентін есептеуге арналады. Осы есептердегі біріктірілген параметрлерді визуализациялауды неғұрлым тиімді аймақты іздеу үшін немесе өлшеу аймағын таңдау үшін қолданылады.

[104] еңбекте баяндалған әдіс оңтайландыру есептерінің параметрлерін анықтайтын визуалды бейнелеудің мәселелерін қарастырады. Практикалық мақсаттарда мұндай есептер былайша құрылады: есептеу класының қандай анықтауыш параметрлерінде қызығушылық танытатын құбылыс пайда болады. Анықтауыш параметрлер кері есептерді көпретті есептеу үдерісі кезінде оқиғаның болуына (физикалық эффект) дейін өзгереді. Анықтауыш параметрлердің нәтижелік өзара тәуелділіктері геометриялық түрлендірулерді қолдануға болатын, визуалды түрде жазықтықтар, көлемдер ретінде бейнеленеді. Анықтауыш параметрлердің кеңістігін базистік векторлардың жиыны ретінде қарастыра отырып, кері есеп осы кеңістікте оқиға болған барлық ішкі облыстарды табу түрінде құрылады. Мұндай қойылым кері есептерді шешудің визуалды концепциясын құруға үшін маңызды. Кері есептің көпретті есептелуін ұйымдастыру көппроцессорлы параллель есептеу идеологиясына сай келеді. Аталған әдіснамалық бағыт гибридіті айырымды сұлбалардың есептеу қасиеттерін оңтайландыру үшін сәтті түрде қолданылды (оқиға ретінде жағымсыз осцилляцийлердің пайда болуы қарастырылады) [94].

Тәжірибелік деректерді визуализациялау жүйелерінің дамуы маңызды бағыт болып табылады. Олар деректерді жинауға, верификациялауға және салыстыруға мүмкіндік береді. ExVis (Exploratory Visualization) жүйесіне ұқсайтын прототип [48] еңбегінде сипатталған. Мұнда осындай жүйелерді құру және функционалды толтырудың негізгі принциптері көрсетілген.

Визуализациялау құралдары. Визуализациялау құралдарына талдау жасау кезінде визуализациялау мысалдарын және визуализациялау жүйелерін айыра білу қажет.

Визуализациялау жүйелері белгілі бір кластағы қалауымызша таңдалынған модельдермен жұмыс жасай алады. Визуализациялаудың мысалдары ретінде қандай да бір модельді объект ерекшеліктерін қолмен демонстрациялау арқылы немесе жеткілікті түрдегі икемді визуализациялау арқылы жасау алынады. Осында назарға аударатын жайт, визуализациялау жүйесі функциялар бойынша да, сонымен қатар, графикалық құралдарды пайдалану бойынша да қуатты мысалдан қарапайымдырақ бола алады. Визуализациялау жүйесінің дамуының екі тенденциясы бар екендігін атап өту қажет. Бір жағынан,

визуализациялаудың әмбебап құралдарын құру, екінші жағынан, барлық бағыттар бойынша мамандандыру.

Визуализациялау жүйелерін, өз кезегінде, әмбебап және белгілі бір қолданушылар класына қызмет көрсететін және өзіндік визуализациялау әдіснамасы бар мамандандырылған түрлеріне бөлуге болады.

Визуализациялаудың әмбебап жүйесінің сипаттамалық мысалы ретінде IBM компаниясының Open Visualization Data Explorer (DX) бола алады. Бұл жүйе визуализациялау құралдарының бай жиынымен сипатталады және модельдік болмыстарды бейнелеудің стандартты тәсілдері, бейнелеудің түрлерімен сипатталады. Сонымен қатар, DX құрамына графикалық емес функциялардың жиыны кіреді, мысалы, математикалық өрнектердің жиындары, статистикалық функциялар, бейнелерді өңдеу құралдары және т.б. Осы жүйеде құрылған деректер ағынына негізделген және визуализациялаудың конвейерін сүйемелдейтін визуализациялаудың сипатталу бағыты маңызды болып табылады. Визуализациялауды сипаттау үшін DX-те деректер ағыны кешенінде тіл енгізіледі.

Қолданбалы программалық пакеттердегі визуализациялау құралдарын, мысалы, Maple, MathCAD сияқты, яғни, пакет құралдарымен сипаттауға болатын және фиксирленген параметрлері бар бейнелердің түрлерін пайдалана отырып, визуализациялауға болатын математикалық объектілер, визуализациялаудың әмбебап жүйелері ретінде қарастыруға болады. Визуализациялауды сипаттауға арналған пакеттің бір бөлігі деректер ағыны базасындағы визуалды тілдерді пайдаланады.

Әмбебап жүйелердің маңызды ерекшелігі типтік математикалық объектілерге арналған бейнелеу түрлерінің типтік жиыны. Осылайша, олар олар арнайы визуализациялауды құруға арналған құралды бере алады. Қолданушының есебі – визуализациялауы қажет модельді болмыстар арасындағы байланысты бейнелеудің стандартты түрлерімен сипаттау, өз тарапынан ол өзін қызықтыратын зерттелетін объектілердің ерекшеліктерін көруге мүмкіндік береді. Бұл қолданушыдан айтарлықтай талпыныстарды қажет етеді, кейде маңызды ерекшеліктерді шығару мүмкін де болмайды. Әмбебап жүйелер арқылы кез келген математикалық объектілерді бейнелеуге болады. Екінші сұрақ, қолданушыдан қандай талпыныстар қажет етіледі, бұл жағдайда визуализациялау кезінде емес, көбінесе нәтижелердің интерпретациясы кезінде. Сонымен қатар ескеретін жайт, толығымен әмбебап визуализациялау жүйелері болмайды. Шындығында, әмбебап жүйелер құрамында бейнелер мен визуализациялау тәсілдерінің қандай да бір стандартты жиыны бар.

Мамандандырылған жүйелер қолданушының жұмысын жеңілдетеді, ал принципіалды түрде жаңа модельдік объектілерді зерттеу жағдайында пайдалану арқасында ғана олардың табиғаты мен ерекшеліктері туралы көрнекі түрде түсінік алуға болады.

Мамандандыруды қамтамасыз етудің бірнеше тәсілдері бар. Дербес жағдайда, визуализациялау объектілері бойынша жүйелерді мамандандыру мүмкін болады. Мысалы, Sandia Labs – та жүзеге асырылған торларды

визуализациялау жүйесі. Ол әр түрлі шығару әдіснамасын жүзеге асыруға мүмкіндік береді, сонымен қатар, виртуалды шындық технологияларын қолданумен. Осы кезде модельдік объектілерді визуализациялауға деген әр түрлі бағыттарды салыстыруға болады.

Мамандандырылған орталарды жүзеге асыру мүмкіндігі бар. Мұндай орталарда визуализациялаудың бір әдіснамасы негізінде әр түрлі білім салаларындағы бірқатар мәселелер шешіледі. Ғылыми визуализациялаудың биомедициналық визуализациясы, химиялық визуализация, аэро және гидродинамика визуализациясы, географиялық визуализация және т.с.с.

Компьютерлік визуализацияның мамандандырылған жүйелеріндегі бейнелердің түрлерін құрудың тәсілдерін тұжырымдайық:

- Деректердің физикалық (биологиялық, ақпараттық және т.б.) және/немесе математикалық болмысы туралы білім жағдайына тәуелділік есебінен ерекшеліктерді визуалды тығыздау.

- Графикалық шешімді құру қажет болатын бақылаудың қажетті келешегін таңдау.

- Модельдік объектілер арасында сәйкестігі болмайтын, бірақ оларға талдау жасау мен олардың интерпретациясын қамтамасыз ететін арнайы визуалды объектілерді құру.

- Зерттелетін құбылыстардың әр түрлі аспектілерін көрсететін бейнелер түрлерінің көптігін қолдану, графикасы, анимациясы, кестелік және мәтіндік бейнелері, сонымен қатар, визуалды объектілерді тікелей басқару есебінен шешімге басшылық жасауы бар бейнелеу түрлерінің жүйелерін құру.

- Шынайы және әдеттегі бейнелілікті бейнелеудің түрлерін құруы кезінде қолдану.

- Визуализациялау жүйелерінде визуализациялаудың әр түрлі жаңа әдіснамаларын қызметін қолдану, дербес жағдайда, виртуалды шындық әдіснамасын қолдану.

Деректерді визуализациялаудың құралдарының сипаттамалары. Деректерді визуализациялаудың құралдарының жеткілікті түрдегі үлкен көлемі бар.

Мұндай құралдарды таңдау үшін деректерді визуализациялау құралдарының үш негізгі сипаттамаларын толығырақ қарастырайық:

- аталған құрал көмегімен визуализациялайтын деректердің болмысы;
- деректердің берілетін визуализациялау тәсілдері мен үлгілері;
- деректерге жақсы талдау жасау үшін визуалды бейнелер мен тәсілдермен өзара әрекеттесу мүмкіндіктері;

Визуализациялау құралдарымен жұмыс істейтін деректердің төмендегідей түрлері бар:

- бірөлшемді деректер - бірөлшемді массивтер, уақыт қатарлары және т.с.с.;

- екіөлшемді деректер – екіөлшемді графиктер нүктелері, географиялық координаттар және т.с.с.;

- көпөлшемді деректер – қаржылық көрсеткіштер, тәжірибелер нәтижелері және т.с.с.;
- мәтіндер мен гипермәтіндер – газеттік мақалалар, web-құжаттар және т.с.с.;
- иерархиялық және байланысқан – ұйымдағы бағынушылық құрылымы, адамдардың электронды хат алмасуы, құжаттардың гиперсілтемелері және т.с.с.;
- алгоритмдер және бағдарламалар – ақпараттық ағындар, тексеруші операциялар және т.с.с.

Аталған деректер типтерін визуализациялау үшін әр түрлі визуалды бейнелер мен оларды құру тәсілдері қолданылады. Белгілі болатындай, деректердің бейнелене алатын визуалды бейнелер саны тек адамдық фантазиямен ғана шектеліне алады. Оларға қойылатын ең негізгі талап – олардың бейнелейтін деректеріне талдау жасаудың көрнекілігі мен ыңғайлылығы. Визуализациялау тәсілдері ең қарапайым (сызықты графиктер, диаграммалар, гистограммалар және т.с.с.) болуымен қатар, математикалық аппаратқа негізделген күрделі де болуы мүмкін. Бұдан басқа, визуализациялау кезінде әр түрлі тәсілдердің жиынтығы қолданылуы мүмкін.

Визуализациялау тәсілдерінің мынадай типтері бар:

- стандартты 2D/3D-бейнелер – гистограммалар, сызықты графиктер және т.с.с.;
- геометриялық түрлендірулер – деректерді шашу диаграммасы, параллель координаттар және т.с.с.;
- белгішелерді бейнелеу - сызықты фигуралар (needle icons) және жұлдыздар (star icons);
- пиксельдерге бағытталған тәсілдер – рекурсивті шаблондар, циклдік сегменттер және т.с.с.;
- иерархиялық бейнелер – ағаш тәріздес карталар және өлшеулерді қабаттастыру.

Визуализациялаудың қарапайым түрлеріне графиктер, диаграммалар, гистограммалар және т.с.с. жатады. Олардың ең негізгі кемшілігі – күрделі деректерді және осы деректердің үлкен көлемін қолайлы визуализациялаудың мүмкіндігінің болмауында. Визуалды бейнелердің геометриялық түрлендіру тәсілдері көпөлшемді деректер жиынын оларды декарттық және декарттық емес геометриялық кеңістіктерде бейнелеу мақсатында трансформациялауға бағытталады. Аталған класта статистиканың математикалық аппараты болады.

Деректерді визуализациялау тәсілінің басқа класы - белгішелерді бейнелеу әдісі. Олардың негізгі идеясы бейнелердің қасиетінде көпөлшемді деректер элементтерінің мәндерін бейнелеу болып табылады. Мұндай бейнелер ретінде адамдардың беттері, бағыттауыштар, жұлдыздар және т.с.с. бола алады.

Визуализация бейнелер қасиеттеріне деректер элементтері атрибуттарын бейнелеумен генерацияланады. Мұндай бейнелерді деректерге бүтіндік талдау жасау үшін топтарға біріктіруге болады. Нәтижелі визуализация деректер сипаттамаларына сәйкес келетін айырмашылықтары бар текстуралардың шаблондары түрінде болады. Пиксельдерге бағытталған тәсілдердің негізгі

идеясы - әрбір өлшеу мәнін түрлі-түсті пиксель ретінде бейнелеу мен олардың қай өлшеу түріне жататындығына байланысты топтастыру. Бір пиксель бір мәнді бейнелеуге қолданылғандықтан, сәйкесінше, аталған тәсіл деректердің үлкен көлемін визуализациялауға мүмкіндік береді (бір миллионнан астам мәндер).

Иерархиялық бейнелердің тәсілдері иерархиялық құрылымдары бар деректерді бейнелеуге арналған. Көпөлшемді деректер жағдайында иерархияны тұрғызуға арналған өлшемдер дұрыс таңдалуы қажет.

Визуалды бейнелеудің даму концепцияларының және тәсілдерінің келешектегі дамитын бағыттары. Жоғары өнімді есептеулердің өсу мүмкіндіктеріне орай неғұрлым күрделі есептер зерттелетін болады, демек, жалпылай алғанда, есептеулердің математикалық тәсілдері мен математикалық аппараты дамитын болады. Бұл жағдай ғылыми визуализацияның дамуының негізгі бағыттарын және болашақ міндеттерін айқындайды. Көптеген бағыттар Ұлттық ғылыми қор мен ұлттық денсаулық институтының ғылыми визуализацияның болашағы туралы бірлескен баяндамасында келтірілген [105].

Ғылыми визуализацияның дамуына қажетті шарттардың бірі параллель есептеуіш жүйелерде пайдалануға визуалды бейнелеудің концепцияларын, тәсілдерін және бағыттарын бейімдеу болып табылады. Мұндағы негізгі міндет – жинақталған тәжірибені сақтау және оны өнімділігі жоғары есептеу жүйелеріне көшіру болып табылады.

Визуализация концепцияларының дамуының негізгі бағыты мен тәсілдері деректерге талдау жасау тәсілдерін құру, оларды басқа қолданбалы облыстарға кеңейту және көрнекілік тәсілдерімен синтездеу болып табылады [106].

Болашақта зор мәнге ие болатын маңызды бағыт оқыту жүйесінің дамуы болып табылады, яғни, кластарда тәжірибелік және есептеу деректерін сандық және визуалды түрде сақтауға, жинауға, өңдеуге және авмоттандырылған режимде нәтижелерін салыстыруға мүмкіндік беретін қор құру.

Күрделі физикалық немесе технологиялық үдерістерге автоматты режимде әр түрлі ракурстарда, әр түрлі уақыт ұзақтықтарында әр түрлі шамалар тұрғысынан талдау жасау және бақылау мүмкіндіктерін қамтамасыз ететін жүйелердің дамуы визуализациялау жүйелерінің маңызды даму бағыты болып табылады. Есептеу үдерісін бақылауды қамтамасыз ететін жүйелерді ұйымдастыру ғылыми зерттеулерде маңызды рөл атқарады.

Осыған байланысты, автоматты сценарий режиміндегі деректерді өңдеуге және визуалды бейнелеуге бағытталған ғылыми визуализация есептеріндегі мамандандырылған интерфейстер жүйесінің дамуы өте өзекті бағыт болып есептелінеді [107]. Мұндай жүйелерді қолдану зерттеушіге неғұрлым қажетті визуалды бейнелеудің түрін, тәсілін, алгоритмін қалыптастырып, визуалды бейнелеудің сценарийін құруға және осы сценарийді басқа да ұқсас объектілерге автоматты түрде көшіруге мүмкіндік береді.

Адамның қабылдауы тұрғысынан визуалды бейнелерді құруға деген қызықты да, болашағы бар бағыт [108] болып табылады (Model based Visualization). Аталған бағыт визуалды бейнелеу есебінің параметрленуіне

және формализациялануына негізделген. Визуалды бейнелеудің моделі үшін басқарушы параметрлер моделі тобы және оңтайлы қабылдауды анықтайтын параметрлер тобы таңдалынады. Басқарушы параметрлер үшін вариациялық есеп оңтайлы қабылдауды анықтайтын параметрлер қажетті мәндерге жеткенше шығарылады.

3.2 Қойылған есептің шешімін ақпараттық жүйе көмегімен визуализациялау және сандық шешімге талдау жасау

Есептеу физикасында сандық модельдеу нәтижелерін визуалды түрде бейнелеу тәсілдері мен алгоритмдерінің рөлі бастапқыда қосалқы ретінде қарастырылған.

а) сандық нәтижелерді басқару мен оларды жақсырақ түсінуді қамтамасыз ету;

б) талқылауларда еске сақтауға және бағыт-бағдарды жеңілдететін иллюстрациялық функция.

Қазіргі кезде қосылқы иллюстрациялық құралдан ғылыми визуализация көптеген жағдайларда модельденетін физикалық үдерістің мағынасын айқындай алатын бірден бір құрал болып табылады [109].

Деректерге визуалды талдау жасау. Визуализациялау деректерге талдау жасауда ең бір болашағы бар бағыттардың бірі болып табылады. Алайда, бұл бағытта мынадай туындайтын мәселелерді атап өтуге болады, мысалы, ұсынылатын құралдардың үлкен көлемі арасында визуализациялау арқылы алынған шешімдердің бағыт-бағдарының күрделілігі, сонымен қатар, бірқатар мамандардың визуализациялау тәсілдерін толыққанды талдау жасау құралдары ретінде есептемеу және оларға басқа тәсілдерді қолдану кезінде ғана тек қана қосылқы рөлді беру сияқты мәселелер. Алайда, визуализациялауда даусыз артықшылықтар бар: ол қолданушыдан ешқандай теориялық білімдерді және арнайы жұмыс істеу дағдысын қажет етпей, қолданушы үшін ақпарат көзі қызметін атқара алады, сонымен қатар, әр түрлі мәселелік облыстарға жататын мамандарды жинақтай алатын тіл бола алады және де деректердің бастапқы жиының бейнеге айналдыра алады, ал ол өз кезегінде, зерттеуші үшін мүлдем жаңа, күтпеген шешімдерді қабылдауға септігін тигізеді.

Деректерге талдау визуалды талдау жасау адамды деректер арасынан білімдерді іздеп табу үдерісіне тартуды көздейді. Негізгі идеясы деректердің үлкен көлемін алгоритмдік түрде ерекшелену қиын болатын ақпаратты адамның көре алатындай етіп көрсету болып табылады. Яғни, адам деректерге өзі ене алып, олардың визуалды бейнелерімен жұмыс істей алып, олардың мағынасын түсініп, қорытындылар шығарып және деректермен тікелей жұмыс істей алу мүмкіндігін туғызу. Ақпараттың күрделілігіне орай, мысалы, шешімдер ағашы, диаграммалар, екіөлшемді графиктер және т.с.с., білімдерді графикалық бейнелеудің қарапайым түрлерімен әрқашан да бейнелеу мүмкін емес.

Визуалды аналитиканың қызмет көрсету облысының шеңбері үлкен (30-сурет), сондықтан бизнес-аналитикамен байланысты ғана сегменттеріне тоқталып өтейік.



Сурет 30 - Визуалды аналитиканың қызмет ету облысы

Деректерге визуалды талдау жасау, әсіресе, деректердің өздері туралы аз ақпарат бар және зерттеу мақсаттары соңына дейін түсініксіз болып келетін жағдайларда пайдалы. Қолданушы әр жағынан көре алатын визуалды түрде бейнеленген деректермен тікелей жұмыс жасағандықтан, оған зерттеу мақсаттарын нақты түрде тұжырымдауға мүмкіндік беретін қосымша ақпарат алу мүмкіндігі туады.

Осылайша, деректерге визуалды талдау жасау гипотезаларды генерациялау үдерісі түрінде көрсетуге болады. Мұнда генерацияланған гипотезаларды автоматты құралдармен (статистикалық талдау жасау тәсілдері немесе Data Mining тәсілдері) немесе визуалды талдау жасау құралдарымен тексеруге болады.

Сонымен қатар, қолданушыны визуалды талдау жасауға тікелей тартудың автоматты тәсілдердің алдында негізгі екі артықшылығы бар:

- Деректерге визуалды талдау жасау әр текті деректермен жұмыс жасауға мүмкіндік береді, ал автоматты тәсілдердің бәрі бірдей мұндай деректермен жұмыс жасай алмайды және қанағаттанарлық нәтижелер бере алмайды;

- Деректерге визуалды талдау жасау интуитивті түсінікті және қандай да бір күрделі математикалық немесе статистикалық алгоритмдерді қажет етпейді.

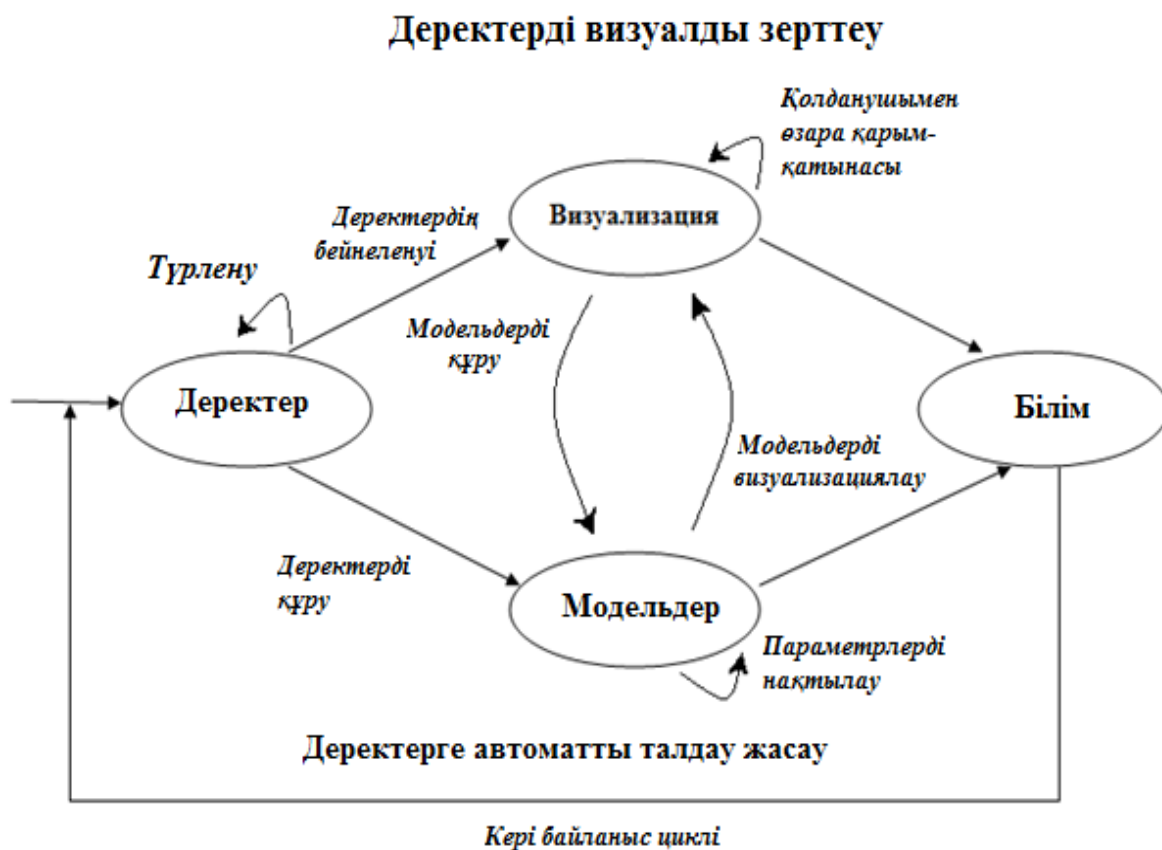
Деректерге визуалды талдау жасау әдетте үш кезеңде орындалады:

- Жүгірмелі талдау жасау – қызықты шаблондарды анықтауға және олардың ішіндегі біреуіне немесе бірнешеуіне фокустануға мүмкіндік береді;

- Үлкейту және сүзгіден өткізу – алдыңғы кезеңде анықталған шаблондар сүзгіден өткізіледі және үлкен масштабта қаралады;

• Қажеттілік бойынша детализациялану - егер қолданушыға қосымша ақпарат қажет болса, онда ол деректерді егжей-тегжейлі визуализациялауына болады.

Визуализация және интерактивті технологиялар адамға осы модельге талдау жасауға және жақсартуға мүмкіндік береді. Әрекеттің басым бөлігі интерактивті режимде күтілетін нәтижеге жүйелі түрде жақындау арқылы орындалады. Тәжірибелік жүзеге асыруда барлық құраушылар бірдей қатыспауы мүмкін (31-сурет), бірақ итерациялық тұйық жүйе қандай жағдайда болмасын болады [109].



Сурет 31 - Деректерді визуалды түрде зерттеу

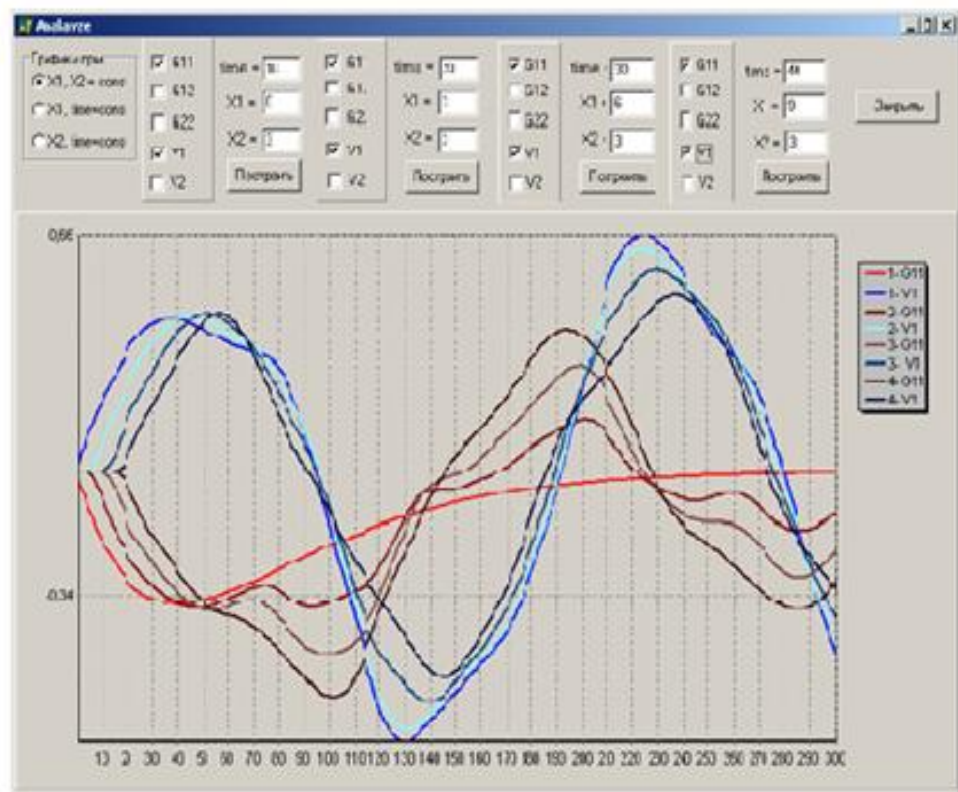
Ақпараттық жүйе жұмысының мысалы және алынған визуализация бойынша нәтижелерге талдау жасау. Құрылған ақпараттық жүйе көмегімен болат өзекке есептеулер жүргізілді. Болат өзектің сипаттамалары:

- тығыздығы $\rho = 7900 \text{ кг/м}^3$,
- бойлық толқындар жылдамдығы $c_1 = 5817 \text{ м/сек}$,
- көлденең толқындар жылдамдығы $c_2 = 3109 \text{ м/сек}$
- тор: $(x_1)_i = i * h$, $(x_2)_j = j * h$, $(t)_k = k * \tau$ ($i = 0, 1, \dots, 20$; $j = 0, 1, \dots, 10$; $k = 0, 1, \dots, 300$) $\tau = 0.025$, $h = 0.05$, $L_1 = 20h$, $L_2 = 10h$.
- динамикалық жүктеме: $f(x) = -te^{-t}$.

33-35-суреттерінде бөлшектердің бойлық және көлденең жылдамдықтарының және әр түрлі бөлімдердегі төрт белгіленген бақылау

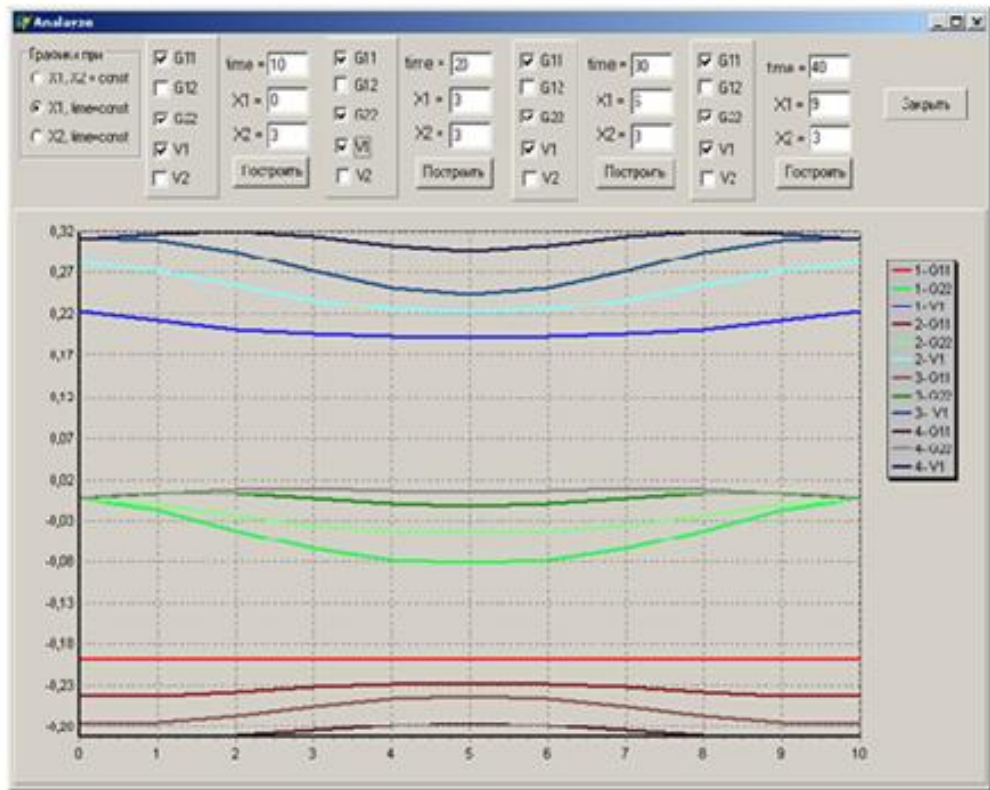
нүктелеріндегі σ_{11} , σ_{22} - нормаль және σ_{12} - жанама кернеулерінің графиктері келтірілген.

32-суретте v_1 бойлық жылдамдық пен төрт белгіленген $(0h; 3h)$, $(3h; 3h)$, $(6h; 3h)$, $(9h; 3h)$ бақылау нүктелеріндегі σ_{11} нормаль кернеудің осциллограммалары бейнелеген. Мұнда σ_{11} нормальді кернеу мен v_1 бойлық жылдамдық айтарлықтай деңгейде x_1 координаты бойынша төменгі қабаттарға біртіндеп өтуі байқалатын шекаралық әсердің формасын қайталайды. v_1 бойлық жылдамдықтары өздерінің бағыттарын бұрыштық нүктелер мен бекітілген шекаралардан шығатын дифракцияланған толқындар әсерінен оң импульстан теріске және керісінше етіп, өздерінің бағыттарын өзгертеді. σ_{11} нормальді кернеулер 1 нүктеде әрдайым берілген шекаралық шарт бойынша теріс мәнді қабылдайды. Ал басқа нүктелерде σ_{11} нормальді кернеу мен v_1 бойлық жылдамдықтар оң импульстан теріске және керісінше етіп, гармониялық түрде өзгереді.



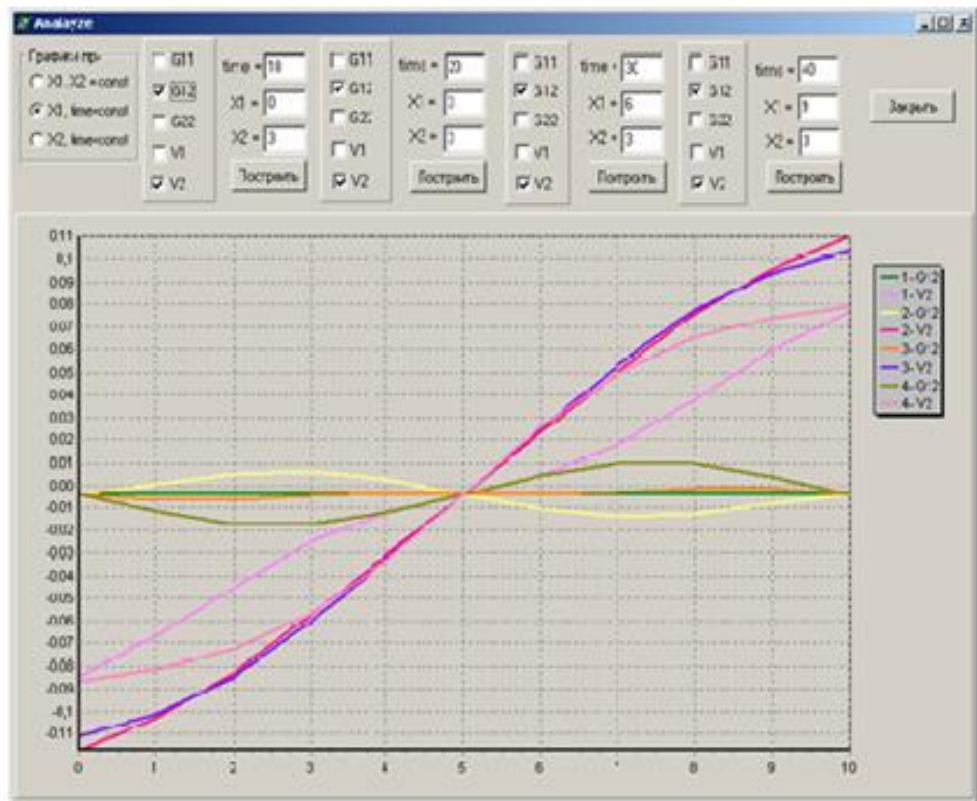
Сурет 32 - v_1 бойлық жылдамдық пен төрт белгіленген бақылау нүктелеріндегі σ_{11} нормаль кернеудің осциллограммалары

Бекітілу шарттарының симметриясы және жүктеменің сипаты үшін ізделінетін v_1 , σ_{11} , σ_{22} параметрлері жұп болады (33-сурет).



Сурет 33 - v_1 , σ_{11} , σ_{22} ізделінетін параметрлердің осциллограммалары

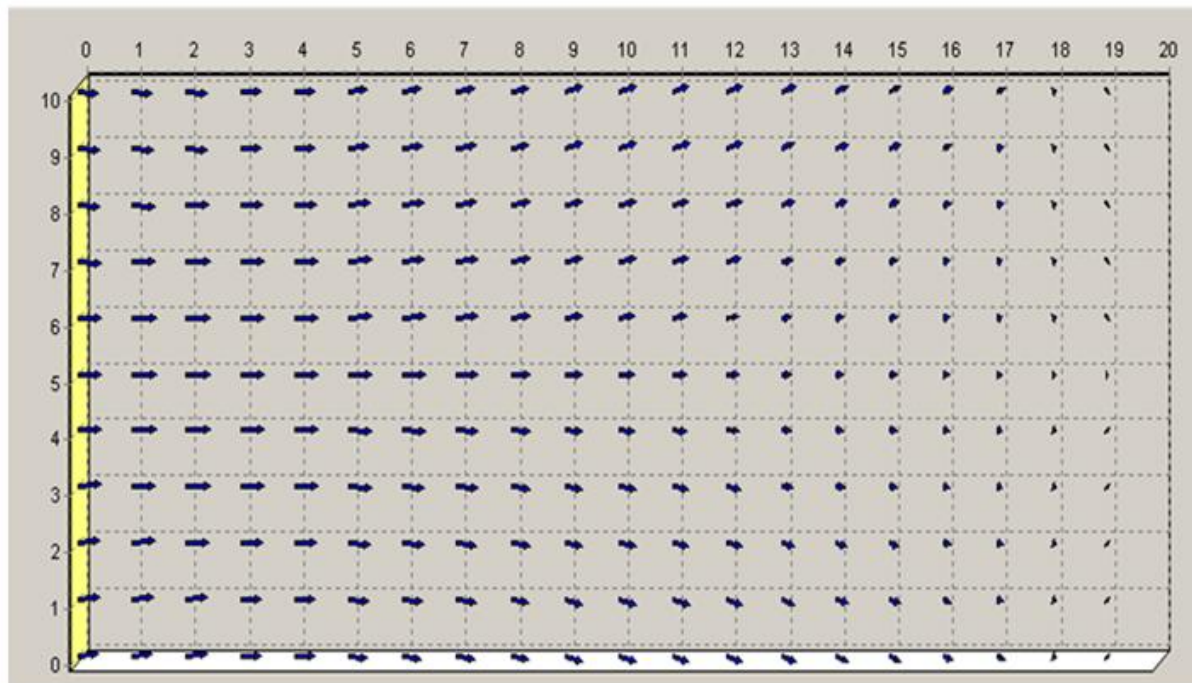
Бекітілу шарттарының симметриясы және жүктеменің сипаты үшін ізделінетін v_2 , σ_{12} параметрлері $x_2=0$ осіне қатысты тақ болады (34-сурет).



Сурет 34 - v_2 , σ_{12} ізделінетін параметрлердің осциллограммалары

33 және 34-суреттерінде төрт белгіленген нүктелерінде бақылау жүргізіледі: $(t=10\tau; x_1=0h)$, $(t=20\tau; x_1=3h)$, $(t=30\tau; x_1=6h)$, $(t=40\tau; x_1=9h)$.

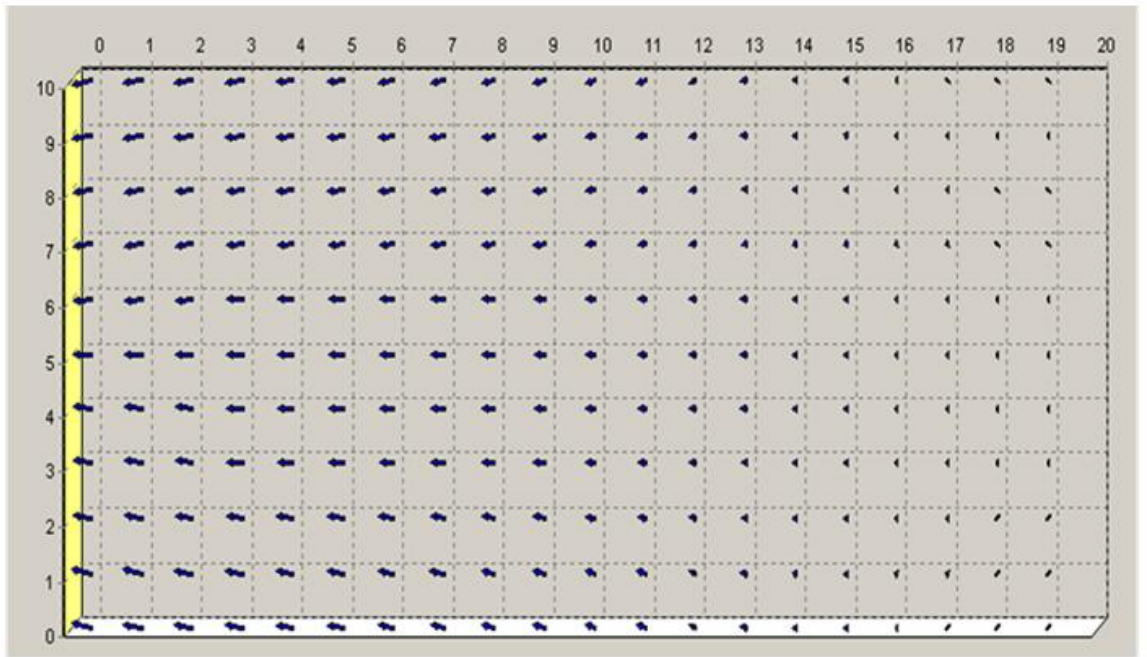
Сонымен қатар, құрылған ақпараттық жүйе көмегімен қандай да бір уақыт моменті үшін жылдамдықтардың векторлық өрісін визуализациялауға болады (35-сурет).



Сурет 35 - $t=40\tau$ уақытындағы жылдамдықтардың векторлы өрісі

35-суретте $t=40\tau$ уақытындағы жылдамдықтардың векторлы өрісі көрсетілген. Мұнда бойлық жылдамдықтардың басымдылығы байқалады. Толқын шекаралық әсердің бағытымен таралады. Еркін жақтық шекаралар бойынша векторлардың азғантай тербелісі байқалады, ал бұл осы шекаралардан толқындардың шағылысуы мен осы шекаралардың формасының өзгеруін сипаттайды. Төменнен бекітудің үстінен векторлардың бағыттарында кішкене өзгерістерді байқауға болады, толқын шекаралардан шағылысады да, өзінің қозғалыс бағытын кері бағытқа өзгертеді.

36-суретте $t=100\tau$ уақытындағы жылдамдықтардың векторлы өрісі көрсетілген. Мұнда толқын шекаралық әсердің бағытынан кері бағытта қозғалатынын көруге болады, яғни, бұл жағдайда бойлық жылдамдықтар басым болады. Бұл құбылыс түсетін толқынның астыңғы бекітілген жағынан шағылысуының нәтижесі болып табылады.



Сурет 36 - $t=100\tau$ уақытындағы жылдамдықтардың векторлы өрісі

Алынған нәтижелерге талдау жасай келе, қарастырылып отырған жолақта толқындық үдерістің екіөлшемді табиғаты айқын түрде байқалады және де бұл есеп қойылымының физикалық мазмұнына сай келеді.

ҚОРЫТЫНДЫ

Зерттеу барысында мынадай мақсат қойылды: ақпараттық жүйені құру және деформацияланатын біртекті қатты денелерде стационарлы емес толқындардың таралу есебінің шешімін визуализациялау.

Қатты денелерде стационарлы емес толқындардың таралу есебін шешуге арналған ақпараттық жүйенің құру, біртекті қатты денелердегі таралатын толқындардың жылдамдықтарының векторлық өрісі мен кернеулерін визуализациялауға арналған программалық құраушының құру, кеңістіктік координаталар бойынша бөлшектеу тәсілі идеясын қолданатын бисипаттама әдісінің негізінде қатты денелерде стационарлы емес толқындардың таралу есебі үшін сандық есептеулерді жүргізу міндеттерін шешу негізінде қойылған мақсатқа қол жеткізілді.

Диссертациялық зерттеулерді жүргізу барысында мынадай ғылыми-негізделген жаңа нәтижелерге қол жеткізілді:

– Деформацияланатын біртекті қатты денеде таралатын стационарлы емес толқындардың таралу есебін шығаруға арналған ақпараттық жүйені құрылды;

– Деформацияланатын біртекті қатты денеде таралатын стационарлы емес толқындардың таралуын және жылдамдықтар өрісі мен кернеулерін визуализациялайтын программалық компоненті құрылды;

– Деформацияланатын біртекті қатты денеде таралатын стационарлы емес толқындардың таралуын және жылдамдықтар өрісі мен кернеулерінің визуализациясы алынды.

Құрылған ақпараттық жүйенің негізгі артықшылықтары:

- қатты денеде стационарлы емес толқындардың таралу есебінің сандық шешімін деректер қорында орталықтандырылған түрде сақтау;
- деректерге жылдам қол жеткізу мүмкіндігі;
- жылдам есептеу және қойылған есептің сандық шешімін алу мүмкіндігі;
- қолданушыға қажетті осциллограмма мен векторлық өрісті автоматтандырылған түрде құру мүмкіндігі;
- визуализациялаудың барлық түрлері бойынша есеп берулерді автоматты түрде генерациялау мүмкіндігі;
- қолданушыны ыңғайлы интерфейспен қамтамасыз ету.

Зерттеудің болашағы қатты денеде стационарлы емес толқындардың таралу есебін шешу үшін бұлттық қызмет көрсетуді ұсыну болып табылады.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Джузбаев С.С. Контактное взаимодействие упругих тел при нестационарных динамических нагрузках. - Туркестан, 1997. - 5 б.
2. Якутин Г.С. Испытание конструкций динамическими нагрузками. - Хабаровск, 2005.- 7 б.
3. Сарсенов Б.Т. Математические модели динамики массива в окрестности очага землетрясения. - Бишкек, Алматы, 2015. - 4 б.
4. Партон В.З. Интегральные уравнения в теории упругости / В.З.Партон, П.И. Перлин. - Москва: Наука, 1977. - 312 б.
5. Купрадзе В.Д. Методы потенциала в теории упругости / В.Д.Купрадзе. - Москва: Наука, 1963. - 472 б.
6. Угодчиков А.Г. Метод граничных элементов в механике деформируемого твердого тела / А.Г. Угодчиков, Н.М. Хуторянский. – Казань, 1986. – 286 б.
7. Хуторянский Н.М. Метод гранично-временных интегральных уравнений в пространственных нестационарных динамических задачах дифракции упругих волн / Н.М.Хуторянский // Прикладные проблемы прочности и эластичности. – 1987. - №3. – 17-23 б.
8. Sah J. Boundary element analysis of linear coupled the elasticity problems by using Laplace transformation / J. Sah, N.Tasaka // Boundary Elem. Meth. Proc 1st Joint Jap., US Symp. Boundary Elem. Meth., - Tokyo, 3-6 Oct. 1988. – 335-544 б;
9. Sharp S. Boundary integral methods for thermoelasticity problems / S.Sharp, S.L.Crouch // Trans. ASME: J.Appl.Mech. - 1986. – Vol.53, 2, - 298-302 б;
10. Flurier J. On the use of coupled fundamental solutions in boundary element method for thermoelastic problems/ J.Fleurier, M.Predeleanu // Eng.Anal, - 1987. - 4, N2, - 70-74 б;
11. Айталиев Ш.М. Метод граничных интегральных уравнений в задачах динамики упругих многосвязных тел / Ш.М. Айталиев, Л.А. Алексеева, Ш.М. Дильдабаев, Н.Б. Жанбырбаев. – Алма-Ата: Наука. -1992. – 228 б.;
12. Alexeyeva L.A. Boundary integral method in two- and three dimensional problems of elastodynamics / L.A. Alexeyeva, Sh.A. Dildabaev, G.K. Zakiryanova, N.B. Zhanbyrbaev // Int. J. Computational Mechanics. – 1987. – V.40. №1. – 1-23 б;
13. Alexeyeva L.A. Boundary element method of boundary value problems of elastodynamics by stationary running loads / L.A. Alexeyeva // Int. J. Engineering Analysis with Boundary Element. – 1998. - №11. – 37-44 б;
14. Alexeyeva L.A. Boundary element method for transient problems of uncoupled thermoelastodynamics / L.A. Alexeyeva, A.N.Dadeva // Boundary Element XIX. Computational mechanics publication. – 1997. – 118-125 б;
15. Алексеева Л.А. Граничные интегральные уравнения для упругой полуплоскости с отверстием при динамических нагрузках на его контуре / Л.А. Алексеева // Изв. АН КазССР. Сер. физ.-мат. -1987. - №3. - 57-62 б;
16. Алексеева Л.А. Метод граничных интегральных уравнений в краевых задачах несвязанной термоэласто-динамики /Л.А. Алексеева, А.Н.

- Дадаева, Н.Б. Жанбырбаев // Прикладная математика и механика. - 1999. -Т.63, Вып.5. - 853-859 б;
17. Алексеева Л.А. Метод обобщённых функций в краевых задачах несвязанной термоэласто-динамики / Л.А. Алексеева, Б.Н. Купесова // Прикладная математика и механика. - 2001. -Т.65, №2. - 334-345 б;
 18. Alexeyeva L.A. Generalized solutions of boundary value problems of dynamic of anisotropic elastic media / L.A. Alexeyeva, G.K. Zakiryanova // Journal of the mechanical behaviour of Materials. - 2004. - №5. - 16-21 б;
 19. Zakiryanova G.K. Generalized solutions of boundary value problems for second order hyperbolic systems / Zakiryanova G.K. // Hyperbolic problems: theory, numerics and applications - II, Yoroehama Publishers, -Japan, 2006. - 409-416 б;
 20. Бреббия К. Методы граничных элементов. / К.Бреббия, Теллес Ж., Броубел Л.-Москва: Наука,1987. – 528 б;
 21. Бреббия К. Применение граничных элементов в технике. / К. Бреббия, С.Уокер. – Москва: Наука, 1982. – 248 б.;
 22. Beskos D.E. Boundary element method in dynamic analyses. / D.E.Beskos // Appl.mech.rev. - 1987. - V.40.№1.-1-23 б;
 23. Ержанов Ж.С. Сейсмонапряженное состояние подземных сооружений в анизотропном породном массиве. / Ж.С. Ержанов, Ш.М. Айталиев, Ж.К. Масанов. – Алма-Ата: Наука, 1980. - 212 б.;
 24. Масанов Ж.К. Определение напряженного состояния тоннелей в транстропном массиве при заданной акселеграмме [Текст] / Ж.К.Масанов, И.Б.Баймаханов //Изв. АН КазССР. Сер. Физ.-мат.-1986. - №5. - 80-84б;
 25. Масанов Ж.К. Реакция станции метро в неоднородном грунте на сейсмическое воздействие / Ж.К.Масанов, Н.М.Махметова// Механика подземных сооружений. - Тула, 1988. - 18-25 б;
 26. Айталиев Ш.М. Применение МКЭ для расчета сейсмостойкости подземных сооружений на заданную акселеграмму / Ш.М.Айталиев, Ж.К.Масанов, И.Б.Баймаханов // Численные методы оценки устойчивости подземных сооружений. - Алматы, 1988. - 47-50 б;
 27. Клифтон Р.Дж. Разностный метод в плоских задачах динамической упругости /Р.Дж.Клифтон // Механика (сб.переводов), - Москва, 1968. - №1, - 103-122 б;
 28. Рекер В.В. Численные решения трехмерных задач динамической упругости/ В.В.Рекер// Прикладная механика. Серия Е. – 1970. - №1, -121-129 б;
 29. Годунов С.К. Численное решение многомерных задач газовой динамики/ С.К. Годунов, А.В. Забродин, М.Я. Иванов, А.Н. Крайко, Г.П. Прокопов. – Москва: Наука, 1976. – 400 б;
 30. Яненко Н.Н. Методы дробных шагов решения многомерных задач математической физики / Н.Н.Яненко – Новосибирск, 1967. – 195 б;
 31. Тарабрин Г.Т. Решение методом бихарактеристик нестационарных задач динамики анизотропных оболочек /Г.Т.Тарабрин// Строительная механика и расчет сооружений. - Москва, 1980. - №6. - 53-58 б;

32. Тарабрин Г.Т. Применение метода бихарактеристик для решения нестационарных задач динамики анизотропных массивов/ Г.Т. Тарабрин // Строительная механика и расчет сооружений. - Москва, 1981. -№4. - 38-43 б;
33. Байтелиев Т.Б. Решение плоской динамической задачи теории упругости для полосы методом пространственных характеристик / Т.Б. Байтелиев, Б.М. Мардонов // В кн. Проблемные вопросы механики горных пород. - Алма-Ата, 1972. -194-201 б;
34. Байтелиев Т.Б. Решение плоской динамической задачи теории упругости методом пространственных характеристик / дис.д.т.н./ Т.Б.Байтелиев. - Туркестан, 1995. -241 б;
35. Аширбаев Н.К. Особенности распространения динамических возмущений в телах с неоднородностями / дис. к.ф.-м.н./ Н.К. Аширбаев. - Шымкент, 1986. – 207 б;
36. Сарсенов Б.Т. Исследование динамических волн на полуплоскости [Текст] /Б.Т. Сарсенов, С.С. Джужбаев // Вестник МКТУ. -Туркестан, 2001. – №4-5. – 200-205 б;
37. Сарсенов Б.Т. Математическая модель задачи волновой динамики / Б.Т. Сарсенов, С.С.Джужбаев // Вестник КазНУ, серия мат., мех., инф. - Алматы, 2002. - №4 (32). - 249-255 б;
38. Сарсенов Б.Т. Дифракция упругих волн в жестко закрепленном изотропном массиве / Б.Т. Сарсенов // Поиск, серия естест. и тех. наук. - Алматы, 2005. - №4. - 215-219 б;
39. Динамика упругой полуплоскости с поверхностным включением при нестационарном воздействии /Б.Т. Сарсенов// III Межд. науч. конф. молодых ученых "Инновационное развитие и востребованной науки в современном Казахстане. - Алматы, 2009. - 58-62 б;
40. Сарсенов Б.Т. Динамика упругой полуплоскости при нестационарном воздействии /Б.Т. Сарсенов // Матер. конференции «Теоретические и прикладные проблемы математики, механики и информатики». - Караганда, 2010. - 215-217 б;
41. Сарсенов Б.Т. Bicharacteristics method in nonstationary contact problems of the dynamic of elastic media. /B. Sarsenov // The 4th congress of the turkic world mathematical society (TWMS), - Baku, Azerbaijan, 1-3 July, 2011. – 345 б;
42. Сарсенов Б.Т. Метод бихарактеристик в контактной задаче волновой динамики / Б.Т. Сарсенов // Научный информационный журнал "Материаловедение", Бишкек, 2013. - №2- 101-104 б;
43. Веденяпин Е.Н. Об одном новом методе численного интегрирования уравнений динамики упругих и упруго-пластичных сред /Е.Н. Веденяпин, В.Н. Кукуджанов // В сб. вопросов вычислительной и прикладной математики. - Ташкент, 1980. - №60. - 32-37 б;
44. Mc Cormick B., De Fanti T., Brown M. (eds), Visualization of scientific computing. ACM Press, 1987. – 45 б;
45. Mueller T.J., Flow visualization by direct injection // Fluid mechanics measurements, Edited by Goldstein R.J., Hemisphere Pub. Co., 1983. -307-375

46. Stolk J., van Wijk J.J., Surface-particles for 3D flow visualization // Advances in scientific visualization, Springer Verlag, 1992. - 119-130
47. Forsell L.K., Cohen S.D. Using line integral convolution for flow visualization: Curvilinear grids, variable-speed animation and unsteady Flows//IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 1995, 1(2). - 133-141 б;
48. Tricoche X., Garth C. Topological methods for visualizing vortical flows // Mathematical Foundations of Scientific Visualization, Computer Graphics, and Massive Data Exploration, Ed. by Moller T., Hamann B., Russell R., Springer-Verlag, 2009. - 89-108 б;
49. Uselton S. ExVis: Developing a wind tunnel data visualization tool, Proc. IEEE Visualization 97, ACM press, New York, 1997. - 417-420 б;
50. Баяковский Ю.М., Галактионов В.А., Михайлова Т.Н. ГРАФОР. Графическое расширение Фортрана. - М.: Наука, 1985. - 112 б;
51. Белозеров А.Ф. Оптические методы визуализации газовых потоков. Казань, Изд.КГТУ, 2007. – 747 б.
52. Могиленских Д.В., Павлов И.В., Федоров В.В., Мельникова С.Н., Сапожникова Е.Э. Принципы построения и функциональное содержание системы визуализации для анализа скалярных и векторных полей, заданных на двумерных регулярных сетках / Препринт РФЯЦ – ВНИИТФ, Снежинск, №172, 2000 - 26 б;
53. Бондарев А.Е., Бондарев Е.Н. Функции визуализации в вычислительной аэродинамике // Общероссийский научно-технический журнал «Полет». - М.: Машиностроение, №10, 2000. - 53-60 б;
54. Шмелев Г.Н. Компьютерные методы проектирования и расчета зданий (Казанский государственный архитектурно - строительный университет) / Под.ред. В.Н. Слестникова. – Казань, 2012. – 131-144 б;
55. Клебанов Я.М., Давыдов А.Н., Папировский В.Л. Использование программного комплекса ANSYS в учебном процессе (Самарский государственный технический университет) – интернет-көзі: cadfem.ru;
56. Басов К.А. ANSYS в примерах и задачах/ Под общ.ред. Д.Г.Красковско-го. – Москва.: Компьютер пресс, 2002. – 224 б;
57. Каплун А.Б., Морозов Е.М., Олферьева М.А. ANSYS в руках инженера: Практическое руководство. – Москва: Едиториал УРСС, 2003. – 272 б.
58. Чигарев А.В., Кравчук А.С., Смалюк А.Ф. ANSYS для инженеров: Справ.пособие. – Москва: Машиностроение -1, 2004. – 512 б.
59. Начертательная геометрия и инженерная графика. Задания и методические указания. / Сост. С.А.Синицын. – Москва: РГОТУПС, 1999. – 52 б.
60. Мусаев В.К. Моделирование нестационарных упругих волн напряжений в деформируемых областях с помощью метода конечных элементов в перемещениях // Современные наукоемкие технологии. – 2014. – №12(1). - 28-32 б;
61. Мусаев В.К. О достоверности компьютерного моделирования нестационарных упругих волн напряжений в деформируемых телах сложной

формы // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2014. -№12- 198-203 б;

62. Мусаев В.К., Ситник С.В., Тарасенко А.А., Ситник В.Г, Зюбина М.В.// Фундаментальные исследования. – 2014. - №11. - 2375-2379 б;

63. Akhmetova Z., Zhuzbaev S., Boranbayev S. The method and software for the solution of dynamic waves propagation problem in elastic medium// Acta Physica Polonica A, Polish Academy of Sciences. - 2016.-Vol.130. - 352-354 б;

64. Akhmetova Z., Boranbayev S., Zhuzbaev S. The visual representation of numerical solution for a non-stationary deformation in a solid body// Advances in Intelligent Systems and Computing, Springer International Publishing Switzerland.- 2016. - Vol. 448. - 473-482 б;

65. Akhmetova Z., Baenova G., Omarbekova A. The subsystems design of methods for solving a problem of non-stationary waves propagation in solid bodies // MATEC Web of Conferences. – 2016. 1-4 б.

66. Akhmetova Z., Zhuzbaev S., Boranbayev S. Development of the system with component for the numerical calculation and visualization of non-stationary waves propagation in solids// Frontiers in artificial intelligence and applications (FAIA). – 2017. – 353-359 б;

67. Ахметова Ж.Ж., Бекешова Г.Б. Визуализация численного решения нестационарной деформации в твердом теле // Вестник ГУ им. Шакарима. - 2016. -№1 (74), 1-том. –91-95 б;

68. Ахметова Ж.Ж., Бекешова Г.Б. Применение метода расщепления для численного решения нестационарной задачи в упругой среде // Вестник ГУ им. Шакарима. -2016. - №1 (73), 1-том. – 79-83 б;

69. Ахметова Ж.Ж., Баенова Г.М. Разработка подсистемы с цифровой библиотекой для исследования волнового процесса в твердых телах // Вестник ЕНУ. - 2016. -№4. – 69-75;

70. Ахметова Ж.Ж., Жузбаев С.С., Боранбаев С.Н. Біртекті серпімді орталарда кернеу толқындарының таралуын зерттеуде визуализацияны қолдану // Вестник ЕНУ. – 2016 - №6, 1-бөлім, 65-71 б;

71. Ахметова Ж.Ж., Жузбаев С.С., Боранбаев С.Н. Қатты денелерде стационарлы емес тоқындардың таралу есебін шешуде сандық әдістерді қолданудың маңыздылығы // Вестник ЕНУ. – 2016 - №6, 1-бөлім. - 65-77 б;

72. Ахметова Ж.Ж., Жузбаев С.С., Махажанова У.Т. Визуализация распространения волн напряжений в однородных упругих средах // Труды V Международной научно-практической конференции «Информатизация общества 2016». - Астана, 2016 - 179-181 б;

73. Ахметова Ж.Ж. Применение численных методов в задачах распространения нестационарных волн в твердых телах при динамической нагрузке// Вестник КазУЭФМТ. - Астана, 2015 - 110-116 б;

74. Ахметова Ж.Ж., Махажанова У.Т. Серпімді ортада динамикалық толқындардың таралуы есебін шешуге арналған программалық қамсыздандуды құру// Международная научно-практическая конференция «Инновации в науке, образовании и производстве Казахстана». - 1-том. - Алматы, 2015 -13-19 б;

75. Zhuzbaev S., Akhmetova Z., Tleukenov S., Baenova G. Application of the splitting method for the numerical solution of non-stationary problems of elastic medium dynamics // Abstract Books «The 4th Abu Dhabi university annual international conference «Mathematical science and its applications».- 2015 -74 б;
76. William S. Davis, David C. Yen. The information system consultant's handbook. Systems analysis and design. CRC Press, ISBN 0849370019. - 1998;
77. 2015 жылдың 24 қарашасынан № 418-V «Ақпараттандыру туралы» ҚР Заңы;
78. ҚР СТ 34.005-2002 Ақпараттық технологиялар. Кілттік терминдер және анықтамалар;
79. История развития СУБД: материалы с сервера дистанционного обучения Бийского технологического института. URL: http://do.bti.secna.ru/lib/book_it/istor_razv.html;
80. Дрождин В.В., Зинченко Р.Е. Эволюция архитектуры информационных систем. Программные продукты и системы. - №4. – 2010. - 59-63 б;
81. Vasconcelos A., Sousa P., Tribolet J. Information System Architecture Evaluation: From Software to Enterprise Level Approaches // 12th European Conference On Information Technology Evaluation (ECITE 2005). -Turku, Finland, September 2005. -102 б;
82. Кольский Г., Волны напряжения в твердых телах, пер. с англ. - Москва, 1955. - 14 б;
83. Новацкий В. Теория упругости// Москва: Мир, 1975. - 11-63б;
84. Интернет-көзі: <http://www.yaklass.ru>;
85. Годунов С.К. и др. Численные решения многомерных задач газовой динамики// Москва: Наука, 1976. - 400 б;
86. Бахтизин В.В., Глухова Л.А., Методология функционального проектирования IDEF0. - Минск: БГУИР, 2003. – 24 б;
87. Калинов С. Логическая модель предметной области - <http://analyst.by>;
88. Интернет-көзі: <https://ru.wikipedia.org>;
89. В. И. Грекул, Г. Н. Денищенко, Н. Л. Коровкина. Проектирование информационных систем. – Москва: ИНТУИТ, 2005. -45 б;
90. Культин Н. Основы программирования в Delphi XE, «БХВ-Петербург». - С.-Петербург, 2011. - 1-2 б;
91. Паклин Н. Б., Орешков В. И. Визуализация данных //Бизнес-аналитика. От данных к знаниям. — 2-е изд. — СПб.: Питер, 2013. — 173—210б;
92. Krum R. Cool infographics: effective communication with data visualization and design. — Indianapolis: Wiley, 2014. — 348 p;
93. Iliinsky N., Steele J. Designing data visualizations. — Sebastopol, CA: O'Reilly, 2011. – 52 б;
94. Могиленских Д.В., Павлов И.В., Сапожникова Е.Э. Методы трехмерного графического представления двумерных данных результатов

решения задач математической физики/ Труды международной конференции «V Забабахинские научные чтения». - Снежинск, 1998. - 136-137 б;

95. 94 Горячев В.Д. Визуализация результатов расчетов в I&CS2 – сетевой информационно-вычислительной системе моделирования термогидродинамических процессов // «Применение методов научной визуализации в прикладных задачах», Сб. науч. тр. - Москва, МГУ, 2000. - 19-36 б;

96. Гудзовский А.В., Клименко С.В. Визуализация свободно-конвективных течений жидкости в полости // Труды международной конференции по компьютерной графике ГРАФИКОН-1998. - Москва, МГУ, 1998. - 31-38 б;

97. Сельвачев А.Ю., Аксенов А.А., Клименко С.В. Анимационная визуализация трехмерных векторных полей// Труды международной конференции по компьютерной графике ГРАФИКОН-1998. - Москва, МГУ, 1998. - 53-56 б;

98. Anikanov A.A., Potiy O.A. Texture advection for 3D flow visualization // The 13th International conference on computer graphics: GraphiCon'2003. - Moscow, 2003. - 100-105 б;

99. Mogilenskikh D.V. Nonlinear color interpretation of physical processes // Proc. 10th International Conference on Computer Graphics & Vision GRAPHICON'2000. - Moscow, 2000. - 202-211б;

100. Базаров С.Б. Применение цифровой обработки изображений для визуализации результатов газодинамических расчетов // «Применение методов научной визуализации в прикладных задачах», Сб. науч. тр. - Москва, МГУ, 2000. - 39-42 б;

101. Афендииков А.Л., Левкович-Маслюк Л.И., Луцкий А.Е., Плёнкин А.В. Локализация разрывов в полях газодинамических функций с помощью вейвлет анализа // Математическое моделирование, 2008, т. 20, №7. - 65-84 б;

102. Kenwright D., Haimes R. «Automatic vortex core detection». IEEE Computer Graphics and Applications, v.18, N 4, 1998. -70 – 74 б;

103. Бондарев А.Е., Бондарев Е.Н. О трассировке вихревых структур //Научная визуализация в прикладных задачах». - Сб. науч.тр. - Москва, МГУ, 2003. - 4-13б;

104. Алексеев А.К., Бондарев А.Е. Визуализация переноса погрешности при расчете поля течения // «Научная визуализация в прикладных задачах». - Сб. науч. тр. - Москва, МГУ, 2003. - 4-13 б;

105. Бондарев А.Е. Применение методов визуализации для оптимизации гибридных разностных схем с учетом влияния вязкости и турбулентности // Тр.1-й межд. конференции «Трехмерная визуализация научной, технической и социальной реальности» / УдГУ – Ижевск, 2009. – т.1, 120-123 б;

106. NIH/NSF Visualization research challenges report, IEEE Computer Society. - 2006;

107. Preusser T., Rumpf M., Telea A. Flow visualization via partial differential equations //Mathematical foundations of scientific visualization,

computer graphics, and massive data exploration, Ed. by Moller T., Hamann B., Russell R. - Springer-Verlag, 2009. - 157-190 б;

108. Ma Kwan-Liu «Visualizing visualizations», IEEE Computer Graphics and Applications, v.20, N 5, 2000. - 16 – 19б;

109. van Wijk J.J. Model-based visualization: computing perceptually optimal visualizations// Mathematical foundations of scientific visualization, Computer graphics, and massive data exploration, Ed. by Moller T., Hamann B., Russell R., Springer-Verlag, 2009, 343-350б;

110. Бондарев А.Е., Галактионов В.А. Научная визуализация в задачах вычислительной физики: концепции, методы, перспективы. - 134-146 б.

ҚОСЫМША А

Құрылған ақпараттық жүйеге ҚР Әділет Министрлігінің берген авторлық құқық объектісіне құқықтарды мемлекеттік тіркеу туралы куәлігі

Авторлық құқық объектісіне құқықтарды
мемлекеттік тіркеу туралы

КУӘЛІК

№ 240 _____ 3 ақпан 2017 ж.

Қазақстан Республикасы Әділет министрлігінде авторлардың өтініші бойынша авторлары **Жанар Жумановна Ахметова, Бақытбек Темирбекович Сарсенов, Серік Сүлейменұлы Жүзбаев, Сейлхан Нарбутинвич Боранбаев** болып табылатын авторлық құқықпен қорғалатын объектіге айрықша мүлкілік құқықтар «Программная система для визуализации численного решения задачи распространения нестационарных волн в твердых телах» (ЭЕМ-ге арналған бағдарлама) атауымен тіркелгені куәландырылады.

Авторлардың өтініші бойынша авторлық құқықпен қорғалатын объектіге айрықша мүлкілік құқықтар және 2017 жылғы 16 қаңтарда жасалған объекті **Ж.Ж. Ахметоваға, Б.Т. Сарсеновқа, С.С. Жүзбаевқа, С.Н. Боранбаевқа** тиесілі және авторлар жоғарыда көрсетілген объектіні жасаған кезде басқа адамдардың зиянкерлік меншік құқығы бұзылмағандығына кепілдік береді.

Тізілімде 2017 жылғы 3 ақпанда жасалған № 240 жазба бар.

Министрдің орынбасары _____ **Э. Әзімова**

КУӘЛІК



СВИДЕТЕЛЬСТВО
о государственной регистрации прав
на объект авторского права

№ 240 _____ 3 февраля 2017 г.

Настоящим удостоверяется, что в Министерстве юстиции Республики Казахстан зарегистрированы исключительные имущественные права на объект авторского права под названием «Программная система для визуализации численного решения задачи распространения нестационарных волн в твердых телах» (программа для ЭВМ), авторами которого по заявлению авторов являются **Ахметова Жанар Жумановна, Сарсенов Бақытбек Темирбекович, Жүзбаев Серік Сүлейменұлы, Боранбаев Сейлхан Нарбутинвич**.

По заявлению авторов исключительные имущественные права на объект авторского права, созданный 16 января 2017 года, принадлежат **Ахметовой Ж.Ж., Сарсенову Б.Т., Жүзбаеву С.С., Боранбаеву С.Н.** и авторы гарантируют, что при создании вышеуказанного объекта не были нарушены права интеллектуальной собственности других лиц.

Запись в реестре за № 240 от 3 февраля 2017 года имеется.

Заместитель министра _____ **Э. Азімова**

СВИДЕТЕЛЬСТВО
ИС. 007325



ҚОСЫМША Ә

Қатты денелерде стационарлы емес толқындардың таралу есебінің шешімін визуализациялауға арналған ақпараттық жүйені өндіріске ендіру туралы акті

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор фирмы
ТОО «ГеоСтрой»
ФИО управляющего



» 09 2017г.

АКТ

внедрения информационной системы для визуализации решения в задаче распространения нестационарных волн в твердых телах

Комиссия в составе:

ФИО – Абдуллаев Т.А.

ФИО – Бзимбердиева К.А.

ФИО – Дулатова А.

составили акт в том, что информационная система для визуализации решения в задаче распространения нестационарных волн в твердых телах, разработанная в рамках докторской диссертации Ахметовой Ж.Ж., прошла экспериментальную проверку и внедрена в процесс проведения компьютерных экспериментов по изучению напряженно-деформированного состояния сред и строительных конструкций.

Разработанная информационная система для визуализации поля скоростей и напряжений дает возможность изучать пространственно-временную картину напряженного состояния объекта, возникающего при распространении упругих волн в твердых телах.

Созданная информационная система с компонентом визуализации решения задачи распространения нестационарных волн в твердых телах позволяет исследовать напряженно-деформированное состояние однородного твердого тела при динамическом воздействии на него, а также моделировать разнообразный тип динамического воздействия на разнообразные твердые тела для проведения компьютерных экспериментов по изучению напряженно-деформированного состояния сред и строительных конструкций, которых невозможно провести экспериментально на реальных объектах.

Данная информационная система была реализована в рамках докторской диссертации по специальности «6D070300 – Информационные системы» Ахметовой Ж.Ж.

На разработанную информационную систему было получено свидетельство о государственной регистрации прав на объект авторского права (No. 240), выданное Министерством Юстиции Республики Казахстан от 03.02.2017.

Члены комиссии:

ФИО _____
(подпись)

ФИО _____
(подпись)

ФИО _____
(подпись)

ҚОСЫМША Б

Диссертациялық жұмыстың нәтижелерін Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ-і «Механика математика» факультеті «Механика» кафедрасының оқу үдерісіне ендіру туралы акті

«УТВЕРЖДАЮ»
Декан механико-математического
факультета ЕНУ им. Л.Н. Гумилева
Джайчибеков Н.Ж.
«27» _____ 2017г.

АКТ

**внедрения результатов диссертационной работы
Ахметовой Жанар Жумановны
в учебный процесс**

Комиссия в составе:

Ибраев А.Г. – д.т.н., профессор, зав. кафедрой механика,

Кишауов К.С. – к.т.н., профессор,

Ахметов С.М. – д.т.н., профессор

настоящим актом подтверждаем внедрение в учебный процесс результатов диссертационной работы PhD докторанта Ахметовой Ж.Ж. «Разработка информационной системы и визуализация решения в задаче распространения нестационарных волн в твердых телах» на кафедре «Механика» механико-математического факультета Евразийского национального университета имени Л.Н.Гумилева

Полученные в результате диссертационной работы программный компонент для визуализации поля скоростей и напряжений в деформируемых однородных твердых телах; информационная система с компонентом визуализации решения задачи распространения нестационарных волн в твердых телах используются учебных курсах «Механика деформируемого твердого тела» и «Теория пластин и оболочек».

Созданная информационная система с компонентом визуализации решения задачи распространения нестационарных волн в твердых телах позволяет исследовать напряженно-деформированное состояние однородного твердого тела при динамическом воздействии на него, а также моделировать разнообразный тип динамического воздействия на разнообразные твердые тела для проведения компьютерных экспериментов по изучению напряженно-деформированного состояния сред и строительных конструкций, которых невозможно провести экспериментально на реальных объектах.

Разработанная информационная система для визуализации поля скоростей и напряжений дает возможность изучать пространственно-временную картину напряженного состояния объекта, возникающего при распространении упругих волн в твердых телах.

На разработанную информационную систему было получено свидетельство о государственной регистрации прав на объект авторского права (№240), выданное Министерством Юстиции Республики Казахстан от 03.02.2017.

Члены комиссии:

Ибраев А.Г. _____

Кишауов К.С. _____

Ахметов С.М. _____

ҚОСЫМША В

Халықаралық ғылыми конференцияларында алынған сертификаттар

The 2nd International Conference on Computational and Experimental Science and Engineering (ICCESEN-2015)



The 20th International Conference on Circuits, Systems, Communications and Computers (CSCC 2016)

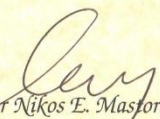
Certificate of Appreciation

Presented to
Akismetova Zhanar

in appreciation for presenting a lecture in the

International Conference of CSCC / INASE / WSEAS

Corfu Island, Greece, July 14-17, 2016


Professor Nikos E. Mastorakis
Technical University of Sofia
Bulgaria

July 17th, 2016