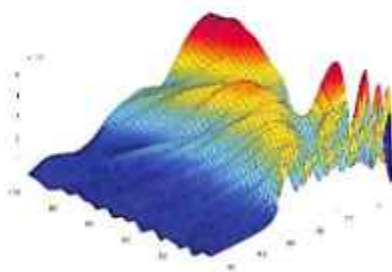
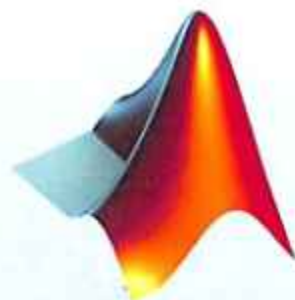


М. Муҳитдинов, Т. Дадажанов, Х. Қулматов

MATLAB ИЛМІЙ - ТАДҚИҚОТ ИШЛАРИДА

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix}, \quad x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix}, \quad b = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_m \end{bmatrix}$$



ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ ВА
КОММУНИКАЦИЯЛАРИНИ РИВОЖЛАНТИРИШ ВАЗИРЛИГИ

ЎЗБЕКИСТОН РАДИОТЕХНИКА, ЭЛЕКТРОНИКА ВА АЛОҚА
ИЛМИЙ-ТЕХНИКА ЖАМИЯТИ

М. МУХИТДИНОВ, Т. ДАДАЖАНОВ, Х. КУЛМАТОВ

МАТЛАВ ИЛМИЙ - ТАДҚИҚОТ ИШЛАРИДА

Тошкент
«O'zbekiston»
2016



тема-
Унинг
илган
ишлар
ўйича
истур-
т.
ёкин
и ту-
ў ки-
ниш-

идир.
LAB
лар-
раша
нум-
мон-

нган

LAV
нинг

ан;
/кли

нинг
ил-

УЎК: 519.7:007

КБК 22.18

М 93

Мухитдинов М.

М 93

MATLAB илмий-тадқиқот ишларида [Матн]/М. Мухитдинов, Т. Далажонов, Х. Кулматов; Ўзбекистон Республикаси ахборот технологиялари ва коммуникацияларини ривожлантириш вазирлиги, Ўзбекистон радиотехника, электроника ва алоқа илмий-техника жамияти. – Тошкент: «O'zbekiston», 2016. – 256 б.

УЎК: 519.7:007

КБК 22.18

32.973.26-018

Маълумки MATLAB тизими техник ҳисоблашларда, дастурлашда, моделлаш ва маълумотларни визуаллаштиришда шу соҳаларда қўлланилувчи бошқа дастурлар ичида юқори самарадорлиги билан ажралиб туради.

Шу сабабли ҳам ушбу китоб MATLAB тизимини тўлиқ ўрганишга қаратилган. Китобда MATLAB тизимини илмий, инженерлик ва бошқа масалаларни ечишда қўллаш усуллари ёритилган. Сонли усуллари амалга ошириш, фойдаланувчининг график интерфейсига эга бўлган иловаларни яратиш, MATLAB тизимининг Word ва Excel дастурлари билан биргаликда ишлатиш масалалари кўплаб мисоллар асосида кўриб чиқилган. Мураккаб объект ва тизимларни ҳисоблаш ва моделлашда янгича ёндашишга асосланган поравшан тўплам ва поравшан мантик ҳамда Fuzzy Logic Toolbox пакети бўйича маълумотлар берилган.

Китоб, асосан, ўқувчилар, жумладан, студентлар, инженерлар, илмий ходимлар, докторантлар ва ўзининг профессионал фаолиятида математик ҳисоблашларни қўллайдиган мутахассислар учун тавсия қилинади.

Тақризчи: Ш.Х. Ғоziлов – техника фанлари доктори, профессор.

ISBN 978-9943-28-529-3

© Мухитдинов М. ва бошқ., 2016

© «O'zbekiston» НМИУ, 2016

КИРИШ

MATLAB (Matrix Laboratory – матрицавий лаборатория) – математик ҳисоблашларни автоматлаштириш учун кучли воситадир. Унинг дастурлаш тили техник ва математик ҳисоблашларга йўналтирилган бўлиб, бошқа анъанавий дастурлаш тилларига нисбатан ҳисоблашлар тезлиги, ечилаётган масалаларга мослашиши ва самарадорлиги бўйича қатор афзалликларга эга. У ҳисоблашлар, визуаллаштириш ва дастурлашни фойдаланиш учун қулай бўлган кўринишда бирлаштирган.

MATLAB илмий тадқиқот ишларида катта ёрдам беради. Лекин MATLAB тизимининг ҳужжатлари жуда катта ҳажмда бўлиб, уни тушуниб олиш бир оз кийинчилик туғдиради. Шу сабабли ҳам ушбу китобнинг вазифаси MATLAB тизимининг имкониятлари билан таништириш ва уни кенг қўллаш имкониятларини очиб беришдир.

Компьютер алгебраси – информатикадаги янги илмий йўналишдир. Унинг юзага келиши Mathematica, Maple, Derive, Mathcad, MATLAB каби символли математика бўйича универсал математик дастурларнинг яратилиши билан узвий боғлиқ. Уларнинг ҳар бири ўзига яраша афзалликларга эга. Улар ичида MATLAB универсаллиги, юқори унумдорлиги, ечиладиган масалаларга мослашувчанлиги ва бошқа томонлари билан ажралиб туради.

Ушбу китоб кенг доирадаги фойдаланувчилар учун мўлжалланган бўлиб, қуйидаги хусусиятларга эга:

- кўплаб техник ва математик масалаларни ечиш учун MATLAB функциялари келтирилиши билан бир қаторда, масалаларни ечишнинг компьютер технологиялари батафсил баён қилинган;
- баён қилинган ҳар бир усул учун кўплаб мисоллар келтирилган;
- MATLAB тизимининг фақат ечилаётган масалаларга тааллуқли бўлган маълумотлари берилган.

Техник ва математик масалаларни ечиш усулларини баён қилишнинг муфассаллиги бўйича ушбу қўлланма адабиётлар рўйхатида келтирилган китоблардан қолишмайди.

MATLAB илмий техник ҳисоблашларни бажариш учун юқори даражали воситадир. Унда ҳисоблашлар, визуаллаштириш ва дастурлаш фойдаланувчи учун қулай тарзда интеграллашган.

MATLAB типик масалаларни ечишга кетадиган вақтни анъанавий дастурлаш тилларидагига (C/C++, Java, Pascal, FORTRAN ва бошқалар) нисбатан жуда кўп марта камайтириш ва янги алгоритмларни ишлаб чиқишни кескин соддалаштириш имкониятини беради.

MATLAB қуйидаги соҳаларда кенг қўлланилади:

- сигналларни қайта ишлаш ва алоқа;
- тасвирларни қайта ишлаш ва видео;
- бошқариш тизимлари;
- автоматлаштириш ва ўлчаш;
- молиявий инжиниринг;
- ҳисоблаш биологияси ва бошқалар.

MATLAB маълумотларни таҳлил қилиш, алгоритмларни ишлаб чиқиш ва моделларни яратиш учун кўплаб методларни тақдим қилади. MATLAB тили инженерлик ва илмий амалларни бажариш учун математик функцияларни ўз ичига олган.

Сонли ҳисоблашлар бўйича қуйидаги амаллар мавжуд:

- интерполяция ва регрессия;
- дифференциаллаш ва интеграллаш;
- чизикли тенгламалар системаларини ечиш;
- Фурье анализ;
- матрицавий амаллар;
- дифференциал тенгламаларни ечиш ва бошқалар.

MATLAB кенгайтмалари статистика, оптималлаш, сигналларни қайта ишлаш ва бошқа соҳалар учун махсус функцияларни тақдим қилади.

Маълумотларни таҳлил қилиш ва визуаллаштириш бўйича:

- MATLAB муаммони электрон жадваллар ёки анъанавий дастурлаш тилларидагига нисбатан тезроқ тадқиқ қилиш имкониятини берувчи маълумотларни олиш, таҳлил қилиш ва визуаллаштириш воқеаларини тақдим қилади. Бундан ташқари, натижаларни графиклар, ҳисоботлар ёки MATLAB кодлари кўринишида хужжатлаштириш мумкин;

- MATLAB файллар орқали бошқа иловаларнинг, маълумотлар базаларининг ёки ташқи қурилмаларнинг маълумотларига кириш имконини беради. Масалан, маълумотларни Microsoft Excel, матили ёки ичкилик, аудио ва видео файллардан ҳамда илмий форматлардан (netCDF

и HDF) ўқиш мумкин. Киритиш-чиқариш функциялари ҳар қандай форматдаги файллар билан ишлаш имконини беради;

- MATLAB кенгайтмаларидан фойдаланиб маълумотлар ёки маълумотлар оқимларини турли қурилмалар, жумладан компьютернинг кетма-кет порти ёки овоз картаси орқали таҳлил қилиш ва визуаллаштириш учун олиш мумкин. Бундан ташқари, осциллограф, сигналлар анализатори ва тебранишлар генератори каби приборларни MATLAB орқали бошқариш мумкин;

- MATLAB маълумотларни бошқариш, филтрлаш ва қайта ишлашни амалга оширади. MATLAB таркибида филтрлаш, текислаш, соддалаштириш ва Фурье тез ўзгартиришлари (FFT) функциялари мавжуд;

- MATLAB тизими 2D ва 3D графикларни қуриш ҳамда ҳажмий визуаллаштириш учун бириктирилган функцияларга эга. Графикларни интерактив йўл билан яратишдан ташқари дастурий йўл билан ҳам қуриш мумкин.

Алгоритмларни дастурлаш ва ишлаб чиқиш бўйича:

- MATLAB тили инженерлик ва илмий масалаларни тезлик билан ечиш учун зарур бўлган векторли ва матрицавий амалларни қўллаб қувватлайди;

- MATLAB тили ёрдамида дастурлар ва алгоритмларни анъанавий дастурлаш тилларидагига нисбатан тезроқ ёзиш мумкин, чунки ўзгарувчилар эълон қилиш, маълумотлар турларини аниқлаш ва хотирани ажратиш каби ташкилий амалларга вақт сарфламайди. Кўпчилик ҳолларда векторли ва матрицавий амалларга ўтиш натижасида for циклидан фойдаланишга зарурат қолмайди. Натижада MATLAB коднинг бир сатри C/C++ коднинг бир неча сатрига тўғри келиши мумкин;

- MATLAB дастурининг ҳар бир командасини интерактив йўл билан алоҳида бажариб натижани дарҳол олиш мумкин. Интерактив командаларни скрипт ёки функция кўринишида бирлаштириб, уларнинг бажарилишини автоматлаштириш мумкин;

- MATLAB кенгайтмалари сигналларни қайта ишлаш, алоқа, тасвир ва видео маълумотларни қайта ишлаш, бошқариш тизимлари ҳамда шунга ўхшаш кўплаб соҳалар учун бириктирилган алгоритмларга эга. Ушбу бириктирилган алгоритмларни хусусий алгоритмлар билан бирлаштириб, мураккаб дастур ва иловаларни амалга ошириш мумкин.

Китобда алгебраик ва символли ҳисоблашлар, MATLAB дастурида графика, М-китоблар, типик масалаларни ечиш учун иловаларни яратиш, MATLAB тизимининг Optimization Toolbox пакети, маълумот-

ларнинг аппроксимацияси ва интерполяцияси, полиномларнинг илди-
ларини, функцияларнинг нолларини аниқлаш ва тенгламалар ҳамда
тенгсизликларни ечиш, сонли дифференциаллаш ва интеграллаш,
дифференциал тенгламаларни сонли ва аналитик усуллар билан ечиш,
қуёш элементи, MATLAB+Simulink тизимининг Simscape моделлаш
пакети, Simulink моделларини қулайлаштириш бўйича тавсиялар, но-
равшан тўпламлар ва норавшан мантик, Fuzzy Logic Toolbox пакети-
нинг тузилиши, MATLAB ва Excel орасида маълумотлар алмашинуви
ва ЭКГ сигналларни қайта ишлаш масалалари кўплаб мисоллар билан
биргаликда кўриб чиқилган. Ушбу ахборотлар MATLAB тизими билан
эффектив ишлаш асосларидан биридир.

Математиканинг вазифаларидан бири олимлар ва инженерлар ора-
сида мулоқот тили бўлиб хизмат қилишдир. Матрицалар, дифференци-
ал тенгламалар, маълумотлар массивлари, графиклар – амалий матема-
тикада ҳам, MATLAB тизимида ҳам ишлатиладиган умумий объект ва
тузилмалардир. Айни ушбу фундаментал асос MATLAB тизимида энг
мукаммал қудрат ва ҳаммабопликни таъминлади.

Фан ва техниканинг турли соҳаларида инженерлик ва илмий
тадқиқотлар билан шуғулланувчи юз минглаб мутахассислар учун
MATLAB тизими ҳисоблашларни ташкил қилиш учун юқори даража-
даги мухитни таъминлаб берди. Шунинг учун MATLAB-тизимининг
асослари билан танишиш турли соҳаларда илмий тадқиқот ишларини
олиб бораётган мутахассислар, илмий ходимлар, изланувчилар, док-
торантлар, магистрлар ва талабалар учун ҳам фойдалидир.

I БОБ.

АЛГЕБРАИК ВА СИМВОЛЛИ ҲИСОБЛАШЛАР

Алгебраик ва символли ҳисоблашлар Symbolic Math Toolbox –сим-
волли математика воситаларидан фойдаланиб бажарилади.

1.1. Символли ҳисоблашлар

1.1.1. Symbolic Math Toolbox пакети

Symbolic Math Toolbox пакети ёрдамида қуйидаги типик аналитик
ҳисоблашларни бажариш мумкин:

- математик ифодаларни соддалаштириш;
- ўрин алмаштириш;
- чегаравий қийматларни аниқлаш;
- дифференциаллаш;
- интеграллаш;
- интеграл ўзгартиришлар;
- тенгламалар ва тенгламалар системаларининг ечимларини олиш;
- дифференциал тенгламаларни ечиш.

Бундан ташқари Symbolic пакети MATLAB мухити билан Maple
символли математика тизимининг ядроси орасидаги интерфейсни
амалга оширади. Лекин MATLAB да ишланганда Maple ни ўрнатиш
талаб қилинмайди.

1.1.2. Символли ўзгарувчилар, константалар ва ифодалар

MATLAB тизимининг ўзгарувчилари символли математикага
алоқаси бўлмаган векторлар, матрицалар ва сонлар кўринишида бе-
рилгани сабабли символли ўзгарувчиларни яратиш керак бўлади.

Символли ўзгарувчилар ёки объектларни яратиш учун sym ёки
syms функцияларидан фойдаланилади. Масалан, $z=\text{sym}('z')$ командаси
'z' номли символли ўзгарувчини қайтаради ва натижани z га ёзади:

```
>>z=sym('z')
```

```
z =
```

```
z
```

Символли ўзгарувчилар гуруҳини яратишда syms функцияси билан
фойдаланилади:

```
syms a b c x
```

командаси

```
a = sym('a')
```

```
b = sym('b')
```

```
c = sym('c')
```

```
x = sym('x')
```

командаларига эквивалент.

```
>> syms x y
```

```
>> (x-y)*(x-y)*2
```

```
ans =
```

```
2*(x-y)^2
```

```
>> expand(ans)
```

```
ans =
```

```
2*x^2-4*x*y+2*y^2
```

```
>> factor(ans)
```

```
ans =
```

```
2*(x-y)^2
```

Символли натижаларни чиқариш чап томондан тўғриланганлигига эътибор беринг. Соли чиқаришларда бундай эмас.

Символли ўзгарувчиларни апострофлар ичига олинган сатр ўзгарувчилари сифатида кўрсатиш мумкин, масалан:

```
>> sin('y')^2+cos('y')^2
```

```
ans =
```

```
1
```

Кутилган натижа олинди – 'y' ўзгарувчи синуси ва косинуслари квадратларининг йигиндиси 1 га тенг.

Символли ифодаларни аргументи апострофлар ичига олинган **sym** командаси ёрдамида ҳам ҳосил қилиш мумкин. Қуйидаги мисолда **pretty** функцияси ифодани математик форматга яқинлаштирилган форматга ўтказди:

MATLAB 6.5 да

```
>> F=sym('(log(abs(x))+1/y)/(sqrt(x)+tan(sin(5)/(1+y^2)))')
```

```
F =
```

```
(log(abs(x))+1/y)/(sqrt(x)+tan(sin(5)/(1+y^2)))
```

```
>> pretty(F)
```

$$\frac{\log(|x|) + 1/y}{\sqrt{x} + \tan\left(\frac{\sin(5)}{1+y^2}\right)}$$

1 + y

MATLAB R2014a да

```
>> F=sym('(log(abs(x))+1/y)/(sqrt(x)+tan(sin(5)/(1+y^2)))')
```

```
F =
```

```
(log(abs(x))+1/y)/(tan(sin(5)/(y^2+1))+x^(1/2))
```

```
>> pretty(F)
```

```
1
```

$$\frac{\log(|x|) + \frac{1}{y}}{\tan\left(\frac{\sin(5)}{\sqrt{y^2+1}}\right) + \sqrt{x}}$$

Maple дастури эса ифодани қулайроқ математик кўринишга ўтказди:

```
> (log(abs(x))+1/y)/(sqrt(x)+tan(sin(5)/(1+y^2)))
```

$$> \frac{\log(|x|) + \frac{1}{y}}{\sqrt{x} + \tan\left(\frac{\sin(5)}{1+y^2}\right)}$$

1.1.3. Символли функциялар

Ифодаларни соддалаштириш функцияси – simplify

S массивнинг символли ифодасини **simplify(S)** функцияси элементлараро соддалаштиради. Агар соддалаштириш мумкин бўлмаса бошланғич ифодани қайтаради. Мисол:

```
>> simplify((x^3-y^3)/(x-y))
```

```
ans =
```

```
x^2+x*y+y^2
```

Ифодаларни соддалаштириш функцияси – simple

Ифодаларни соддалаштириш функцияси **simple(S)** кўринишида S массив элементларини соддалаштиради ва оралик натижалар ҳамда энг қиска натижани чиқаради. **[R, HOW] = simple(S)** кўринишида оралик чиқарилмайди, соддалаштириш натижалари R векторга тақдим қилинади, **HOW** сатр векторида эса бажарилаётган ўзгартиришлар кўрсатилади.

MATLAB 2014A да мисол:

```
>> syms x y
>> simple(sin(x)*cos(y)+cos(x)*sin(y))
Warning: simple will be removed in a future release. Use simplify
instead. (Диккат: кейинги версиялардан simple функцияси олиб таш-
ланган. Унинг ўрнига simplify функциясидан фойдаланинг)
> In sym.simple at 41
simplify:
sin(x + y)
radsimp:
cos(x)*sin(y) + cos(y)*sin(x)
simplify(Steps = 100):
sin(x + y)
combine(sincos):
sin(x + y)
combine(sinhcosh):
cos(x)*sin(y) + cos(y)*sin(x)
combine(ln):
cos(x)*sin(y) + cos(y)*sin(x)
factor:
cos(x)*sin(y) + cos(y)*sin(x)
expand:
cos(x)*sin(y) + cos(y)*sin(x)
combine:
cos(x)*sin(y) + cos(y)*sin(x)
rewrite(exp):
(exp(-x*i)/2 + exp(x*i)/2)*((exp(-y*i)*i)/2 - (exp(y*i)*i)/2) + ((exp(-
x*i)*i)/2 - (exp(x*i)*i)/2)*(exp(-y*i)/2 + exp(y*i)/2)
rewrite(sincos):
cos(x)*sin(y) + cos(y)*sin(x)
rewrite(sinhcosh):
-cosh(x*i)*sinh(y*i)*i - cosh(y*i)*sinh(x*i)*i
rewrite(tan):
- (2*tan(x/2)*(tan(y/2)^2 - 1))/((tan(x/2)^2 + 1)*(tan(y/2)^2 + 1)) -
(2*tan(y/2)*(tan(x/2)^2 - 1))/((tan(x/2)^2 + 1)*(tan(y/2)^2 + 1))
mwcos2sin:
-sin(x)*(2*sin(y/2)^2 - 1) - sin(y)*(2*sin(x/2)^2 - 1)
collect(x):
cos(x)*sin(y) + cos(y)*sin(x)
```

```
ans =
sin(x + y)
>>syms a b x
>>V=[sin(x)^2+cos(x)^2, log(a*b)]
V =
[ sin(x)^2+cos(x)^2, log(a*b)]
>>simplify(V)
ans =
[ 1, log(a*b)]
>>simplify((a^2-2*a*b+b^2)/(a-b))
ans =
a-b
```

Ифодаларни кенгайтириш функцияси – expand

Ифодаларни кенгайтириш функцияси **expand(S)** кўринишида **S** массивга кирувчи ифодаларни кенгайтирилган кўринишга ўтказди.

Мисоллар:

Maple дастурида:

```
> S=[(x+2)*(x+3)*(x-4),sin(2*x)];
```

```
S = [(x+2)(x+3)(x-4),sin(2x)]
```

```
> expand((x+2)*(x+3)*(x-4),sin(2*x));
```

```
x^3 + x^2 - 14x - 24
```

```
> expand(sin(a+b));
```

```
sin(a)cos(b) + cos(a)sin(b)
```

```
> expand((a+b)^3);
```

```
a^3 + 3a^2b + 3ab^2 + b^3
```

MATLAB 2014A да мисоллар :

```
syms x
```

```
expand((x-2)*(x-4))
```

```
ans =
```

```
x^2 - 6*x + 8
```

Тригонометрик ифодаларни кенгайтириш:

```
syms x y
```

```
expand(cos(x+y))
```

```
ans =
```

```
cos(x)*cos(y) - sin(x)*sin(y)
```

Экспонентани кенгайтириш:

```
syms a b
```

```
expand(exp((a + b)^2))
```

```
ans =
```

```
exp(a^2)*exp(b^2)*exp(2*a*b)
```

Вектор кўринишидаги ифодаларни кенгайтириш:

```
syms t
```

```
expand([sin(2*t), cos(2*t)])
```

```
ans =
```

```
[ 2*cos(t)*sin(t), 2*cos(t)^2 - 1]
```

Сукут бўйича expand функцияси ёрдамида ҳамма ост ифодалар, жумладан, тригонометрик ост ифодалар ҳам кенгайтирилади:

```
syms x
```

```
expand((sin(3*x) - 1)^2)
```

```
ans =
```

```
2*sin(x) + sin(x)^2 - 8*cos(x)^2*sin(x) - 8*cos(x)^2*sin(x)^2 + 16*cos(x)^4*sin(x)^2 + 1
```

Агар тригонометрик, гиперболик ва логарифмик ост ифодалар кенгайтирилиши зарур бўлмаса ArithmeticOnly буйруғидан фойдаланиш керак:

```
expand((sin(3*x) - 1)^2, 'ArithmeticOnly', true)
```

```
ans =
```

```
sin(3*x)^2 - 2*sin(3*x) + 1
```

Сукут бўйича логарифм белгисининг ичидаги ифода кенгайтирилади:

```
syms a b c
```

```
expand(log((a*b/c)^2))
```

```
ans =
```

```
log((a^2*b^2)/c^2)
```

Агар логарифмлар ҳам кенгайтирилиши зарур бўлса IgnoreAnalyticConstraints буйруғидан фойдаланиш керак:

```
expand(log((a*b/c)^2), 'IgnoreAnalyticConstraints', true)
```

```
ans =
```

```
2*log(a) + 2*log(b) - 2*log(c)
```

Ифодаларни оддий кўпайтирувчиларга ажратиш – factor
Ифодаларни оддий кўпайтирувчиларга ажратиш функцияси factor(S) кўринишида S вектор ифодаларини оддий кўпайтирувчиларга, бутун сонларни эса оддий сонлар кўпайтмаларига ажратади.

```
>> x=sym('x');
```

```
factor(x^7-1)
```

```
ans =
```

```
(x - 1)*(x^6 + x^5 + x^4 + x^3 + x^2 + x + 1)
```

```
>> factor(sym('123456789'))
```

```
ans =
```

```
3^2*3607*3803
```

Айтайлик A символли матрицанинг D аниқловчиси (функция det) ва тескари матрицаси A⁻¹ (функция inv) топилиши керак бўлсин.

```
syms a b
```

```
A=[a b;a^2 b^2]
```

```
A =
```

```
[ a, b]
```

```
[ a^2, b^2]
```

```
D=det(A)
```

```
D =
```

```
a*b^2-b*a^2
```

```
factor(D)
```

```
ans =
```

```
-a*b*(-b+a)
```

```
A1=inv(A)
```

```
A1 =
```

```
[ -b/a/(-b+a), 1/a/(-b+a)]
```

```
[ a/b/(-b+a), -1/b/(-b+a)]
```

Даражалар бўйича комплектлаш функцияси – collect

Даражалар бўйича комплектлаш функцияси collect(S,v) кўринишида S вектор ёки матрица таркибидаги ифодани v ўзгарувчининг даражалари бўйича комплектлайди.

```
syms x y
```

```
S=[x^3*y^2+x^2*y+3*x*y^2 x^4*y-y*x^2];
```

```
collect(S,x)
```

```
ans =
```

```
[ x^3*y^2+x^2*y+3*x*y^2, x^4*y-x^2*y]
```

```
collect(S,y)
```

```
ans =
```

```
[ (x^3+3*x)*y^2+x^2*y, (x^4-x^2)*y]
```

Ўрнига қўйишларни амалга ошириш функцияси – subs

Символли математиканинг энг эффектив ва кенг ишлатиладиган амалларидан бири ўрнига қўйиш амалидир. Ўрнига қўйиш функцияси **subs(S, OLD, NEW)** кўринишда ишлатилганда **S** символли ифодадаги **OLD** рўйхатдаги ўзгарувчилар **NEW** рўйхатдаги ўзгарувчиларга алмаштирилади.

Куйидаги мисолда $x+y+z-t$ ифодадаги x кетма-кет равишда a, b, c ва d га алмаштирилади.

```
syms z t x y a b c d;
subs(x+y+z-t, [a b c d])
ans =
[ a+y+z-t, b+y+z-t, c+y+z-t, d+y+z-t]
```

```
syms a b x y;
subs(x-y, x, 5)
ans =
5-y
subs(sin(x)+cos(y), [x y], [a b])
ans =
sin(a)+cos(b)
```

1.1.4. Математик таҳлилнинг символли амаллари

Ҳосилани ҳисоблаш функцияси – diff

S ифодадан ҳосилаларни символли кўринишда ҳисоблаш учун **diff** функциясида **diff(S, x, n)** форматда фойдаланилади. У **S** символли ифодадан x ўзгарувчи бўйича n -тартибли ҳосилани қайтаради.

Биринчи тартибли ҳосилани олиш учун функцияни **diff(S, x)** форматда ёзиш мумкин ($n=1$ сукут бўйича).

Айтайлик $y = x^2 \sin x$ функциянинг биринчи ва учинчи тартибли ҳосилаларини олиш зарур бўлсин:

```
syms x
y=x^2*sin(x);
diff(y,x)
ans =
x^2*cos(x) + 2*x*sin(x)
diff(y,x,3)
ans =
6*cos(x) - x^2*cos(x) - 6*x*sin(x)
```

S функция массив бўлиши мумкин. Бундай ҳолларда жавоб бошланғич функцияларнинг ҳосилаларидан ташкил топган массив бўлади.

```
syms x y
f=asin(x*y);
x1=diff(f,x)
x1 =
y/(1 - x^2*y^2)^(1/2)
x2=diff(f,x,2)
y1=diff(f,y)
x2 =
(x*y^3)/(1 - x^2*y^2)^(3/2)
y1 =
x/(1 - x^2*y^2)^(1/2)
```

```
subs([x1 y1],[x y],[0 0])
```

```
ans =
```

```
[ 0, 0]
```

```
xy=diff(diff(f,x),y)
```

```
xy =
```

```
1/(1 - x^2*y^2)^(1/2) + (x^2*y^2)/(1 - x^2*y^2)^(3/2)
```

Интегралларни ҳисоблаш функцияси – int

int(f, x) функция символли f ифодадан x бўйича аниқланмаган интегрални қайтаради.

int(f, x, a, b) функция символли f ифодадан x бўйича a дан b гача оралик учун аниқ интегрални қайтаради.

```
syms x
int(x/(1-x^2))
ans =
-log(x^2 - 1)/2
diff(-1/2*log(x-1)-1/2*log(1+x),x)
ans =
-1/(2*(x - 1)) - 1/(2*(x + 1))
[q,w]=simple(ans)
q =
```

```
-x/(x^2 - 1)
cki
q =
x/(1-x^2)
w =
simplify
syms x a b
int(x/(a+b*x^2),x)
```

```
ans =
log(b*x^2 + a)/(2*b)
```

```
syms x a b c d
int(x/(a+b*x^2),x,c,d)
```

Берилган $\arcsin x$ функциянинг аниқ интегралини ҳисоблашга мисол:

```
syms x
int(asin(x),x,0,pi/4)
ans =
(pi*asin(pi/4))/4 + (16 - pi^2)^(1/2)/4 - 1
```

Агар жавоб сатрини сичқонча ёрдамида активлаштириб <Enter> тугмасини боссак куйидаги жавобни оламиз:

```
>> (pi*asin(pi/4))/4 + (16 - pi^2)^(1/2)/4 - 1
ans =
0.3285
```

1.1.5. Алгебраик тенгламаларни ечиш – solve

Алгебраик тенгламалар системаларини ва якка тенгламаларни ечиш учун `solve` ёки `fzero` команда (буйрук)лари ишлатилади:

`Solve` командаси `solve(expr1, expr2,..., exprN, var1, var2,..., varN)` форматда ишлатилади ва `expr` тенгликлар бажариладиган `var1` ўзгаришчиларнинг қийматлари қайтарилади.

$x^3-1=0$ тенгламани ечишни кўрайлик

```
syms x
y=x^3-1;
S=solve(y,x)
```

S =

```
1
(3^(1/2)*i)/2 - 1/2
- (3^(1/2)*i)/2 - 1/2
```

Учта илдизни аниқладик $x_1=1, x_2=(3^{1/2}i)/2 - 1/2, x_3=-(3^{1/2}i)/2 - 1/2$, Улар S массивнинг $S(1), S(2), S(3)$ элементларида сақланади. Уларни $y=x^3-1$ ифодага қўйиб ечимларни текшириб кўрайлик.

```
subs(y,x,S)
```

ans =

```
0
((3^(1/2)*i)/2 - 1/2)^3 - 1
- ((3^(1/2)*i)/2 + 1/2)^3 - 1
```

```
[m,n]=simple(ans)
```

m =

0

0

0

n =

simplify

Илдизлар тўғри топилган, чунки уларнинг қийматларида $y=x^3-1$ ифода нолга тенг.

Аналитик кўринишда берилган тенгламаларни ҳам `solve` функцияси ёрдамида ечиш мумкин:

```
S=solve('a*x^2+b*x+c=0',x)
```

S =

```
-(b + (b^2 - 4*a*c)^(1/2))/(2*a)
-(b - (b^2 - 4*a*c)^(1/2))/(2*a)
```

```
syms a b c x y z
```

```
Y1=(a+b)/(x+y)+(b+c)/(y+z)-(c+a)/(z+x)-1;
```

```
Y2=(a+b)/(x+y)-(b+c)/(y+z)+(c+a)/(z+x)-1;
```

```
Y3=-(a+b)/(x+y)+(b+c)/(y+z)+(c+a)/(z+x)-1;
```

```
S=solve(Y1,Y2,Y3,x,y,z)
```

S =

```
x: [1x1 sym]
```



y: [1x1 sym]

z: [1x1 sym]

disp([S.x S.y S.z])

[a, b, c]

subs([Y1 Y2 Y3],[x y z],[S.x S.y S.z])

ans =

[0, 0, 0]

disp(simplify(ans))

[0, 0, 0]

Шундай қилиб, системанинг ечими $(x;y;z)=(a;b;c)$ эканлиги ўрнига қўйиш йўли билан текшириб қўрилади.

Solve командасини **solve(expr1)** форматда ҳам ишлатиш мумкин. Бу ҳолда тенглама ундаги мавжуд номаълумга нисбатан ечилади. Масалан $x^2 - 2x - 4 = 0$ тенгламани ечиш учун қуйидагилар киритилади:

>> solve('x^2-2*x-4=0')

ans =

[5^(1/2)+1]

[1-5^(1/2)]

ёки тенглама коэффициентларидан бирини ўнли каср кўринишида ёзсак, натижани ҳам ўнли каср кўринишида оламиз:

>> solve('x^2-2*x-4.=0')

ans =

[-1.2360679774997896964091736687313]

[3.2360679774997896964091736687313]

Натижани сонли кўринишда олиш учун double ёки vpa (кўпроқ разрядларни кўрсатиш учун) командаларидан фойдаланиш мумкин:

>> double(ans)

ans =

-1.2361

3.2361

>> vpa(ans)

ans =

[-1.2360679774997898050514777423814]

[3.2360679774997898050514777423814]

Эътибор беринг, ечилиши зарур бўлган тенглама якка қўштирноқ ичига олинади.

Полиноминал тенгламаларни ечиш учун ҳам solve командасидан фойдаланилади:

solve('x^4+x^3+x^2-3=0')

ans =

[

[-1/6*(172+36*29^(1/2))^(1/3)+10/3/(172+36*29^(1/2))^(1/3)-2/3]

[1/12*(172+36*29^(1/2))^(1/3)-5/3/(172+36*29^(1/2))^(1/3)-

2/3+1/2*i*3^(1/2)*(-1/6*(172+36*29^(1/2))^(1/3)-10/3/(172+36*29^(1/2))^(1/3))]

[1/12*(172+36*29^(1/2))^(1/3)-5/3/(172+36*29^(1/2))^(1/3)-

2/3-1/2*i*3^(1/2)*(-1/6*(172+36*29^(1/2))^(1/3)-10/3/(172+36*29^(1/2))^(1/3))]

>> double(ans)

ans =

1.0000

-1.3926

-0.3037 - 1.4359i

-0.3037 + 1.4359i

>> vpa(ans)

ans =

[1.]

[-1.3926467817026408901881495694397]

[-.30367660914867961041707644653798 -1.43594986410995617553

96507578553*i]

[-.30367660914867961041707644653798+ 1.43594986410995617553

96507578553*i]

Ўзгарувчилар сони бирдан кўп бўлганда solve командасидан фойдаланиш мумкин. Агар тенгламалар сони ўзгарувчилар сонидан кам бўлса, ҳисобланиши зарур бўлган ўзгарувчилар аниқ кўрсатилади. Масалан, қуйидаги мисолда $2*x-\log(y)=1$ тенглама у га нисбатан ечилган:

>> solve('2*x-log(y)=1','y')

ans =

exp(2*x-1)

Тенгламалар системасини ечишда ҳар бир тенглама апостроф ичига олинади:

>> [x,y] = solve('x^2 + x*y + y = 3','x^2 - 4*x + 3 = 0')

```

x =
[ 1]
[ 3]
y =
[ 1]
[-3/2]
>> double([x,y])
ans =
1.0000 1.0000
3.0000 -1.5000
>> double(ans)
ans =
1.0000 1.0000
3.0000 -1.5000
>> double(x)
ans =
1
3
>> double(y)
ans =
1.0000
-1.5000

```

Ечимларни алохида кўришимиз ҳам мумкин:

```

>> x(1)
ans =
1
>> x(2)
ans =
3
>> y(1)
ans =
1
>> y(2)
ans =
-3/2
>> double(y(2))
ans =
-1.5000

```

Биринчи тенгламани у га нисбатан ечайлик:

```
>> y=solve('x^2 + x*y + y = 3','y')
```

```

y =
[-1/2*y+1/2*(y^2-4*y+12)^(1/2)]
[-1/2*y-1/2*(y^2-4*y+12)^(1/2)]

```

Ёки $x^2 + xy + y = 3$ тенгламанинг у га нисбатан ечими (формулар Maple дастурига ўтказиб олинди):

$$y = \frac{-1y}{2} + \frac{1(y^2 - 4y + 12)^{\frac{1}{2}}}{2}$$

$$\frac{-1y}{2} - \frac{1(y^2 - 4y + 12)^{\frac{1}{2}}}{2}$$

Ечимларни чиқариш вектор кўринишда $[x, y]$ белгиланди. Агар бундай қилинмаса MATLAB ечимларни автоматик тарзда бермайди. Ечимлар бирор, масалан S ўзгарувчига тақдим қилинади:

```
>> S = solve('a*u^2 + v^2','u - v = 1','u','v')
```

```

S =
u: [2x1 sym]
v: [2x1 sym]

```

$au^2 + v^2$

$u - v = 1$

тенгламалардаги ҳар бир номаълум иккитадан символли ечимга ([2x1 sym]) эга.

Ечимларни кўриш учун S.u ва S.v командалар киритилади:

```

>> S.u
ans =
[ 1/2/(a+1)*(-2*a+2*(-a)^(1/2))+1]
[ 1/2/(a+1)*(-2*a-2*(-a)^(1/2))+1]

```

Ёки

$$\frac{1(-2a + 2(-a)^{\frac{1}{2}})}{2(a+1)} + 1$$

$$- \frac{1(-2a - 2(-a)^{\frac{1}{2}})}{2(a+1)} + 1$$

```
>> S.v
```

ans =

$$\left[\frac{1}{2(a+1)}(-2a+2(-a)^{1/2}) \right]$$

$$\left[\frac{1}{2(a+1)}(-2a-2(-a)^{1/2}) \right]$$

ёки

$$\frac{1(-2a+2(-a)^{1/2})}{2(a+1)}$$

$$\frac{1(-2a-2(-a)^{1/2})}{2(a+1)}$$

2(a+1)

Ечимларнинг алоҳида натижаларини кўриш учун S.u(1), S.u(2) ва S.v(1), S.v(2) командалар киритилади:

>> S.u(1)

ans =

$$\frac{1}{2(a+1)}(-2a+2(-a)^{1/2})+1$$

>> S.u(2)

ans =

$$\frac{1}{2(a+1)}(-2a-2(-a)^{1/2})+1$$

>> S.v(1)

ans =

$$\frac{1}{2(a+1)}(-2a+2(-a)^{1/2})$$

>> S.v(2)

ans =

$$\frac{1}{2(a+1)}(-2a-2(-a)^{1/2})$$

Агар тенгламани символли йўл билан ечиб бўлмаса solve командаси сонли ечимни излайди, масалан:

>> solve('sin(x)=2-x')

ans =

$$1.1060601577062719106167372970301$$

Куйидаги мисолда тенгламанинг фақат битта ечими олинган:

>> solve('exp(-x)=sin(x)')

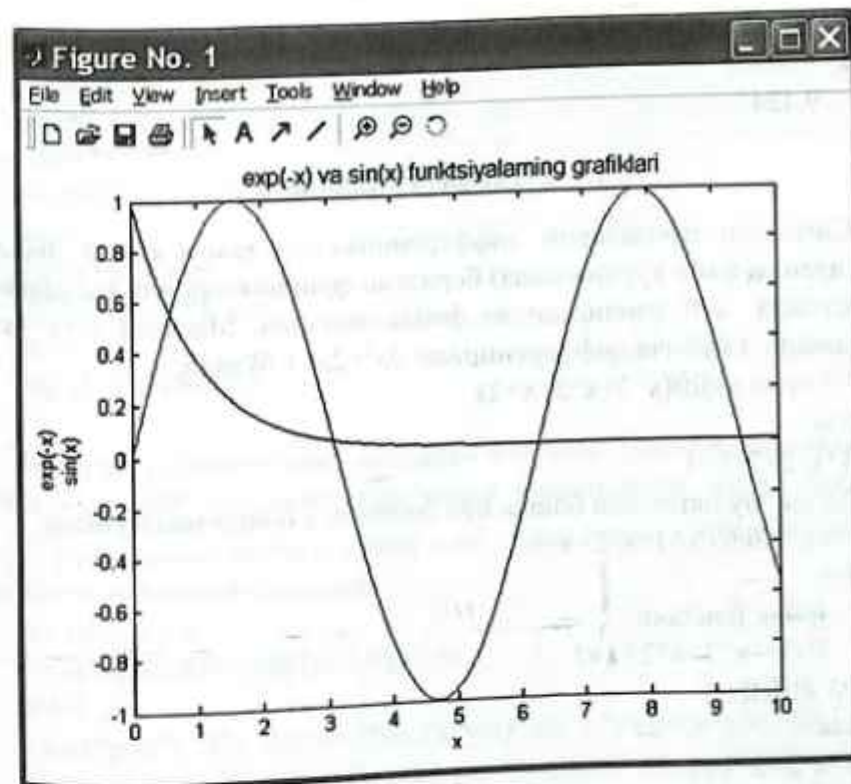
ans =

$$-2.0127756629315111633360706990971+2.703074511590962213931i$$

Олинган ечим тўғри, лекин тўлиқ эмас. Ечимларни кўриш учун exp(-x) ва sin(x) функцияларни графикларини курамиз (1.1-расм):

>> x=0:0.01:10;

>> plot(x,exp(-x),x,sin(x))



1.1-расм. exp(-x) ва sin(x) функцияларнинг графиклари.

Функцияларнинг кесишиш нукталари (1.1-расм) тенгламанинг ечимлари бўлганлиги сабабли тенглама жуда кўп ечимга эга. Уларни аниқлаш учун fzero командасидан фойдаланамиз, яъни exp(-x) - sin(x) функциянинг нолларини аниқлаймиз. Биринчи кесишиш нуктаси учун ечимни x = 0.5 нукта атрофидан излаймиз:

>> x = fzero(inline('exp(-x)-sin(x)'),0.5)

x =

0.5885

Худди шунга ўхшаб, қолган кесишиш нукталари учун ҳам ечимларни аниқлаймиз:

>> x = fzero(inline('exp(-x)-sin(x)'),3)

x =

3.0964

>> x = fzero(inline('exp(-x)-sin(x)'),6)

x =

6.2850

```
>> x = fzero(inline('exp(-x)-sin(x)'),9)
x =
9.4247
```

1.1.6. Дифференциаллаш

Символли ифодаларни дифференциаллаш ҳамда сонли шаклда (масалан m-файл кўринишида) берилган функцияларнинг ҳосиласини аниқлашда diff командасидан фойдаланилади. Масалан x^3+x^2+x+2 ифоданинг x бўйича дифференциали $3x^2+2x+1$ бўлади:

```
>> syms x; diff(x^3+x^2+x+2)
ans =
```

```
3*x^2+2*x+1
```

Худди шу натижани бошқа йўл билан ҳам олишимиз мумкин:

```
>> f=inline('x^3+x^2+x+2')
f =
```

Inline function:

```
f(x) = x^3+x^2+x+2
```

```
>> diff(f(x))
ans =
```

```
3*x^2+2*x+1
```

Иккинчи ҳосила учун синтаксис diff(f(x), 2) ва n-ҳосила учун diff(f(x), n) кўринишга эга бўлади. Юқорида келтирилган функция учун иккинчи, учинчи ва тўртинчи ҳосилаларни олишни кўрайлик:

```
>> syms x; diff(x^3+x^2+x+2,2)
ans =
```

```
6*x+2
```

```
>> syms x; diff(x^3+x^2+x+2,3)
ans =
```

```
6
```

```
>> syms x; diff(x^3+x^2+x+2,4)
ans =
```

```
0
```

Бир неча ўзгариувчиларга эга бўлган ифодаларнинг хусусий ҳосилаларини ҳам diff командаси ёрдамида олиш мумкин, масалан $\cos\left(\frac{xy}{z}\right)$ ифоданинг x , y , z бўйича хусусий ҳосилалари мос равишда

$$\frac{\sin\left(\frac{xy}{z}\right)y}{z}, \quad -\frac{\sin\left(\frac{xy}{z}\right)x}{z}, \quad -\frac{\sin\left(\frac{xy}{z}\right)xy}{z^2}$$

га тенг:

```
>> syms x y z
>> diff(cos(x*y/z),x)
ans =
-sin(x*y/z)*y/z
>> diff(cos(x*y/z),y)
ans =
-sin(x*y/z)*x/z
>> diff(cos(x*y/z),z)
ans =
sin(x*y/z)*x*y/z^2
```

Ҳар хил ўзгариувчиларга нисбатан бир неча хусусий ҳосилаларни олиш учун diff командаси кўп марта ишлатилиши керак, масалан $\cos\left(\frac{xy}{z}\right)$ ифоданинг аввал x кейин y ва ундан кейин z бўйича хусусий ҳосиласи қуйидагича олинади:

```
>> syms x y z
>> diff(diff(diff(cos(x*y/z),x),y),z)
ans =
```

```
-sin(x*y/z)*x^2*y^2/z^4+3*cos(x*y/z)*x/z^3*y+sin(x*y/z)/z^2
```

Олинган натижани Maple дастури ёрдамида одатдаги кўринишга ўтказамиз:

$$-\frac{\sin\left(\frac{xy}{z}\right)x^2y^2}{z^4} + \frac{3\cos\left(\frac{xy}{z}\right)xy}{z^3} + \frac{\sin\left(\frac{xy}{z}\right)}{z^2}$$

Оддий дифференциал тенгламаларни ечишда дифференциаллаш D ҳарфи билан белгиланади, масалан, $xy + 1 = y'$ дифференциал тенглама қуйидагича ечилади:

```
>> dsolve('x*Dy+1=y','x')
ans =
```

```
1+x*C1
```

1.1.7. Интеграллаш

MATLAB дастурида аниқ ва аниқмас интегралларни ҳисоблаш учун int командасининг қуйидаги кўринишларидан фойдаланилади:

int(s) – findsym функцияси орқали автоматик тарзда аниқланган символли ўзгариувчи бўйича s ифодадан аниқмас интеграл ҳисобланади;

int(s,v) – v символли ўзгариувчи бўйича s ифодадан аниқмас интеграл ҳисобланади;

$\text{int}(s,a,b)$ - s ифодадан a дан b гача ораликда аниқ интеграл ҳисобланади;

$\text{int}(s,v,a,b)$ - s ифодадан v символли ўзгарувчи бўйича a дан b гача ораликда аниқ интеграл ҳисобланади.

Интеграл ҳисобланишидан олдин символли ўзгарувчилар кўрсатилиши ёки апостроф ичига олиниши керак. Интеграллашга ми-
соллар:

```
>> syms x u t;
```

```
>> int(1/(1+x^2))
```

```
ans =
```

```
atan(x)
```

```
>> int(sin(x*u),x)
```

```
ans =
```

```
-1/u*cos(x*u)
```

```
>> int(x1*log(1+x1),0,1)
```

```
??? Undefined function or variable 'x1'.
```

```
>> int('x1*log(1+x1)',0,1)
```

```
ans =
```

```
1/4
```

```
>> int(4*x*t,x,2,sin(t))
```

```
ans =
```

```
2*t*(sin(t)^2-4)
```

```
>> int(4*x*t,x,2,4)
```

```
ans =
```

```
24*t
```

```
>> int('d^2','d')
```

```
ans =
```

```
1/3*d^3
```

Сонли интеграллаш учун MATLAB дастурида `quad` ва `quadl` коман-
далари мавжуд:

```
>> F = inline('1./(x.^3-2*x-5)');
```

```
Q = quad(F,0,2)
```

```
Q =
```

```
-0.4605
```

```
>> F1 = inline('exp(-x.^2)./(x.^3-2*x-5)')
```

```
F1 =
```

```
Inline function:
```

```
F1(x) = exp(-x.^2)./(x.^3-2*x-5)
```

```
>> quadl(F1,1,3)
```

```
ans =
```

```
-0.0334
```

MATLAB дастури кўп мартали интеграллаш амалини ҳам бажариши мумкин. Қуйида келтирилган мисолда $(x^2 + y^2)$ ифодадан икки марта (аввал x , кейин y бўйича) аниқ интеграл ҳисобланган:

$$\int_0^{\pi} \int_0^{\sin(x)} (x^2 + y^2) dy dx$$

```
>> syms x y; int(int(x^2 + y^2, y, 0, sin(x)), 0, pi)
```

```
ans =
```

```
pi^2-32/9
```

```
>> double(ans)
```

```
ans =
```

```
6.3140
```

Иккиланган интегрални ҳисоблаш учун `dblquad` командасидан фойдаланиш мумкин. Қуйидаги мисолда $(x^2 + y^2)$ ифода учун сонли интеграллаш $\pi \leq x \leq 2\pi$, $0 \leq y \leq \pi$ ораликларда амалга оширилган:

```
>> Q = dblquad(inline('x.^2 + y.^2'), pi, 2*pi, 0, pi)
```

```
??? Error using ==> inlineeval
```

```
Error in inline expression ==> x.^2 + y.^2
```

```
??? Error using ==> ^
```

```
Matrix must be square.
```

```
>> Q = dblquad(inline('x.^2 + y.^2'), pi, 2*pi, 0, pi)
```

```
Q =
```

```
259.7576
```

```
ёки
```

```
>> syms x y; Q = dblquad('x.^2 + y.^2', pi, 2*pi, 0, pi)
```

```
Q =
```

```
259.7576
```

Чегаравий қийматлар

MATLAB дастурида чегаравий қийматларни ҳисоблаш учун `limit` командаси мавжуд:

```
>> syms x; limit(sin(x)/x, x, 0)
```

```
ans =
```

```
1
```

Бир томонлама чегаравий қийматларни ҳисоблашда 'right' ва 'left' параметрлари ишлатилади. Масалан:

```
>> limit(abs(x)/x, x, 0, 'left')
```

```
ans =  
-1
```

```
>> limit(abs(x)/x, x, 0, 'right')
```

```
ans =  
1
```

Чексизлик бўйича чегаравий қийматларни ҳисоблашда `inf` символдан фойдаланилади:

```
>> syms x t; limit((1+2*t/x)^(3*x), x, inf)
```

```
ans =
```

```
exp(6*t)
```

1.1.8. Йиғинди ва кўпайтмалар

MATLAB дастурининг векторлар бўйича имкониятларидан фойдаланиб йиғинди ва кўпайтмаларни `sum` ва `prod` командалари ёрдамида осонлик билан ҳисоблаш мумкин, масалан:

```
>> k = 3:9;
```

```
>> sum(k)
```

```
ans =
```

```
42
```

```
>> prod(k)
```

```
ans =
```

```
181440
```

Чекли ва чексиз йиғиндиларни `symsum` командасидан фойдаланиб символли шаклда аниқлаш мумкин:

```
>> syms n; symsum(n^2, 0, 10)
```

```
ans =
```

```
385
```

```
>> syms k; symsum(1/k^2, 1, Inf)
```

```
ans =
```

```
1/6*pi^2
```

Кейинги мисолда

$$\sum_{k=1}^n \left(\frac{1}{k} - \frac{1}{1+k} \right)$$

ифода бўйича йиғиндини аниқлаш келтирилган:

```
>> syms k n; symsum(1/k-1/(k+1), 1, n)
```

```
ans =
```

```
-1/(n+1)+1
```

ёки

$$-\frac{1}{n+1}+1$$

1.1.9. Сукут бўйича ўзгарувчилар

MATLAB дастурининг функцияларида ўзгарувчиларни белгилаш учун ҳар қандай ҳарфдан фойдаланиш мумкин. Лекин MATLAB ўзгарувчиларни бир-биридан фарқлаб ажратиш учун бириктирилган иерархияга эга. Масалан, `solve('x + y = 3')` ифодадаги тенглама x учун ечилади, y учун эмас. Тенгламани y га нисбатан ечиш учун y аниқ кўрсатилиши керак:

```
solve('x + y = 3', 'y').
```

MATLAB дастурида `solve diff, int` командалари учун x сукут бўйича ўзгарувчидир. Агар юқоридаги командалар иштирокидаги ифодалар бошқа ўзгарувчига нисбатан ҳисобланадиган бўлса ўзгарувчи кўрсатилиши керак.

Оддий дифференциал тенгламаларни ечишда ишлатиладиган `dsolve` командаси учун сукут бўйича мустақил ўзгарувчи сифатида t ҳарфи билан белгиланган ўзгарувчи қабул қилинган. Йиғиндини символли ҳисоблаш командаси `symsum` учун k сукут бўйича ўзгарувчидир.

1.1.10. Дифференциал тенгламаларни ечиш функцияси – dsolve

`dsolve('eqn1', 'eqn2', ...)` – бошланғич шартларга эга бўлган дифференциал тенгламаларнинг аналитик ечимларини қайтаради. Аввал тенгламалар, кейин эса бошланғич шартлар кўрсатилади. Агар тенгламалар учун ифодаларда тенглик белгиси ишлатилмаса, ифода нолга тенг, деб олинади (`eqn1=0`).

Сукут бўйича мустақил ўзгарувчи сифатида t ўзгарувчи олинган. Бошқа ўзгарувчилардан фойдаланиш учун улар `dsolve` функцияси рўйхатининг охирига ёзилиши керак. D символи мустақил ўзгарувчи бўйича биринчи ҳосилани белгилайди, d/dt ни, $D2$ эса иккинчи d^2/dt^2 ҳосилани ва ҳ.к. Мустақил ўзгарувчининг номи D ҳарфи билан бошланмаслиги керак.

Бошланғич шартлар $y(a)=b$ ёки $Dy(a)=b$ тенгликлар кўринишида берилади, бу ерда y – боғлиқ ўзгарувчи, a и b – константалар, улар символли бўлиши ҳам мумкин. Тенгламалардаги константалар ҳам символли бўлиши мумкин. Агар бошланғич шартлар сони

тенгламалар сонидан кам бўлса ечимда $C1, C2, \dots$ эркин доимийлар катнашади.

$$x'' = -2x',$$

$$y'' = -ax + y', y(0) = b,$$

$$y^{(4)} - y = 5e^{\sin x} + x^4,$$

$$y''' + 2y'' + y' = -2e - 2x, y(0) = 2, y'(0) = 1, y''(0) = 1$$

дифференциал тенгламаларнинг ечилишини кўрайлик.

$$\text{Яъни } x = \cos t + 2 \sin t, y = -\sin t + 2 \cos t.$$

Баъзи дифференциал тенгламаларнинг аналитик ечимини **dsolve** функцияси ёрдамида олиб бўлмайди. Чунки аналитик ечим бўлмаслиги мумкин. Бундай ҳолларда дифференциал тенгламалар сонли усуллар билан ечилади.

Айрим ҳолларда **dsolve** функцияси ечимни махсус функциялар орқали қайтариши мумкин, масалан, Бессел тенгламаси

$$x^2 y'' + xy' + (x^2 - \nu^2)y = 0$$

Ечим Бессел функцияси орқали ифодаланган. Бессел функцияси бўйича маълумот олиш учун командалар сатрида **doc besseli** командаси киритилади.

1.1.11. Дифференциал тенгламаларни **dsolve** функцияси ёрдамида ечиш

Коши кўринишидаги дифференциал тенгламаларни ечиш учун MATLAB да қуйидаги функция мавжуд:

dsolve('eqn1', 'eqn2', ...) – бошланғич шартларга эга бўлган дифференциал тенгламалар системасининг аналитик ечимини қайтаради. Аввал тенгламалар, кейин бошланғич шартлар eqn1 тенгликлар кўринишида бериллади. Тенглик белгилари қўйилмаган ифодалар нолга тенг, деб олинади.

Сукут бўйича эркин (мустакил) ўзгарувчи сифатида одатда вақтнинг ифодаловчи t ўзгарувчи олинади. Агар эркин ўзгарувчи сифатида бошқа ўзгарувчи олинса у **dsolve** функцияси параметрлари рўйхатининг охирига қўшиб қўйилади. Ифодаларда D симболи билан эркин ўзгарувчи бўйича ҳосила белгиланади, яъни d/dt , D^2 эса d^2/dt^2 ни билдиради ва х.к. Эркин ўзгарувчининг номи D билан бошланмаслиги керак.

Бошланғич шартлар $y(a) = b'$ ёки $Dy(a) = b'$ тенгликлар кўринишида бериллади, бу ерда y – боғлиқ ўзгарувчи, a ва b – константалар, улар символи хам бўлиши мумкин. Тенгламалардаги константалар хам символи бўлиши мумкин. Агар бошланғич шартлар сони дифферен-

циал тенгламалар сонидан кам бўлса, ечимда $C1, C2$ ва х.к. ихтиёрий (эркин) доимийлар мавжуд бўлади.

dsolve функциясидан фойдаланишга мисоллар.

1-мисол

$$x'' = -2x'$$

дифференциал тенгламани ечиш

```
>> dsolve('D2x=-2*x')
```

ans =

$$C1 \cos(2^{1/2}t) + C2 \sin(2^{1/2}t)$$

ёки

$$C1 \cos(\sqrt{2}t) + C2 \sin(\sqrt{2}t)$$

2-мисол

$$y'' = -ax + y', y(0) = b$$

дифференциал тенгламани ечиш

```
>> dsolve('D2y=-a*x+y', y(0)=b, 'x')
```

ans =

$$a*x + C1 \sinh(x) + b \cosh(x)$$

ёки

$$ax + C1 \sinh(x) + b \cosh(x)$$

3-мисол

$$y^{(4)} - y = 5e^{\sin x} + x^4$$

дифференциал тенгламани ечиш ва ечимни текшириш

```
>> syms x
```

```
>> S=dsolve('D4y-y-5*exp(x)*sin(x)-x^4','x')
```

S =

$$149/208 \cos(x) \exp(x) - 24x^4 - 57/104 \exp(x) \sin(x) - 21/26 \exp(x) \sin(x) \cos(x)^2 - 1/4 \sin(x) \exp(x) \sin(2x) + 1/2 \sin(x) \exp(x) \cos(2x) - 41/52 \cos(x)^3 \exp(x) + 15/208 \cos(3x) \exp(x) - 5/104 \sin(3x) \exp(x) + C1 \exp(x) + C2 \sin(x) + C3 \cos(x) + C4 \exp(-x)$$

```
>> [R, HOW] = simple(S)
```

R =

$$-24x^4 - \exp(x) \sin(x) + C1 \exp(x) + C2 \sin(x) + C3 \cos(x) + C4 \exp(-x)$$

Ечимни текшириш:

```
>> diff(R,x,4)-R-5*exp(x)*sin(x)-x^4
```

ans =

0

```
>> syms x
>> S=dsolve('D3y+2*D2y+Dy=-2*exp(-2*x)',y(0)=2,'Dy(0)=1','D2y(0)=1','x')
S =
exp(-2*x)+4-3*exp(-x)
Ечимни текшириш:
>> diff(S,x,3)+2*diff(S,x,2)+diff(S,x)
ans =
-2*exp(-2*x)
Бошлангич шартларнинг бажарилишини текшириш:
>> subs(S,x,0)
ans =
2
>> subs(diff(S,x),x,0)
ans =
1
>> subs(diff(S,x,2),x,0)
ans =
1
```

4-мисол

$y''' + 2y'' + y' = -2e^{-2x}$, $y(0)=2$, $y'(0)=1$, $y''(0)=1$.

дифференциал тенгламалар системасини ечиш ва ечимни текшириш.

Ечиш

```
>> syms x
>> S=dsolve('D3y+2*D2y+Dy=-2*exp(-2*x)',y(0)=2,'Dy(0)=1','D2y(0)=1','x')
S =
exp(-2*x)+4-3*exp(-x)
Ечимни текшириш:
>> diff(S,x,3)+2*diff(S,x,2)+diff(S,x)
ans =
-2*exp(-2*x)
Бошлангич шартларнинг бажарилишини текшириш:
>> subs(S,x,0)
ans =
2
>> subs(diff(S,x),x,0)
ans =
```

```
1
>> subs(diff(S,x,2),x,0)
ans =
1
```

5-мисол

$x'=y$

$y'=-x$

дифференциал тенгламалар системасини ечиш.

```
>> S=dsolve('Dx = y', 'Dy = -x')
```

S =

x: [1x1 sym]

y: [1x1 sym]

```
>> disp([S.x, S.y])
```

[cos(t)*C1+sin(t)*C2, -sin(t)*C1+cos(t)*C2]

Бошлангич шартларга эга бўлган дифференциал тенгламалар системасини ечиш ва ечимни текшириш.

```
>> syms x t
```

```
>> S=dsolve('Dx = y', 'Dy = -x',x(0)=1,'y(0)=2','t')
```

S =

x: [1x1 sym]

y: [1x1 sym]

```
>> [S.x S.y]
```

ans =

[cos(t)+2*sin(t), -sin(t)+2*cos(t)]

Яъни $x=\cos t+2\sin t$, $y=-\sin t+2\cos t$.

Ечимни текшириш:

```
>> diff(S.x,t)-S.y
```

ans =

0

```
>> diff(S.y,t)+S.x
```

ans =

0

Бошлангич шартларнинг бажарилишини текшириш:

```
>> subs(S.x,t,0)
```

ans =

1

```
>> subs(S.y,t,0)
```

ans =

2

1.1.12. Лаплас ўзгартиришлари – laplace

Интеграл ўзгартиришлар дифференциал тенгламалар ечишда, бошқариш тизимларининг динамикасини тадқиқ қилишда ва шунга ўхшаш кўплаб техник ва илмий масалаларни ечишда кенг қўлланилади.

Интеграл ўзгартиришлардан MATLAB тизимида Фурье, Лаплас ва Z ўзгартиришлар мавжуд. Улардан биз Лаплас ўзгартиришларини кўриб чиқамиз.

Лаплас ўзгартиришлари куйидаги кўринишда бўлади:

$$L(s) = \int_0^\infty f(t)e^{-st}dt,$$

бу ерда: $f(t)$ оригинал ва $L(s)$ тасвир деб аталади.

MATLAB тизимида $f(t)$ функциянинг Лаплас ўзгартиришлари бириктирилган `laplace(F)`, `laplace(F,s)`, `laplace(F,t,s)` функциялар ёрдамида амалга оширилади. Уларда Лаплас ўзгартиришлари юқорида келтирилган $L(s) = \int_0^\infty f(t)e^{-st}dt$ формулага асосан бажарилади.

Мисоллар:

```
>> laplace(t^5)
ans =
120/s^6
>> laplace(exp(a*s))
ans =
1/(t-a)
>> laplace(sin(w*x),t)
ans =
w/(t^2+w^2)
>> laplace(cos(x*w),w,t)
ans =
t/(t^2+x^2)
>> laplace(x^sym(3/2),t)
ans =
3/4/t^(5/2)*pi^(1/2)
>> laplace(diff(sym('F(t)')))
ans =
s*laplace(F(t),t,s)-F(0)
>> syms a t w s
>> n=sym('n','positive');
>> laplace(1,t,s)
ans =
1/s
```

```
>> laplace(exp(-a*t),t,s)
ans =
1/(s+a)
>> laplace(sin(a*t),t,s)
ans =
a/(s^2+a^2)
>> laplace(t^n,t,s)
ans =
s^(-n-1)*gamma(n+1)
>> laplace(exp(-a*t)*cos(w*t),t,s)
ans =
(s+a)/((s+a)^2+w^2)
>> laplace(t^n*exp(-a*t),t,s)
ans =
gamma(n+1)*(s+a)^(-n-1)
```

Кўриниб турганидек, олинган тасвирлар Лаплас ўзгартиришлари жадвалидаги билан деярли бир хил.

Энди бевосита Лаплас ўзгартиришлари жадвалида мавжуд бўлмаган $e^{(-2t)} \sin(2t) \cos(3t)$ функциянинг тасвирини ҳосил қилишни кўрайлик.

```
>> syms t s
>> laplace(exp(-2*t)*sin(2*t)*cos(3*t),t,s)
ans =
(2*s^2 + 8*s - 2)/(s^4 + 8*s^3 + 50*s^2 + 136*s + 145)
ёки
> \frac{2s^2 + 8s - 2}{s^4 + 8s^3 + 50s^2 + 136s + 145}
```

1.1.13. Тескари Лаплас ўзгартиришлари – ilaplace

MATLAB тизимида $L(s)$ функция учун тескари Лаплас ўзгартиришлари бириктирилган `ilaplace(L)`, `ilaplace(L,t)`, `ilaplace(L,s,t)` функциялар ёрдамида амалга оширилади.

Лапласнинг тескари ўзгартиришлари куйидаги кўринишда бўлади (мисоллар):

```
>> syms a t w s
>> n=sym('n','positive');
>> ilaplace(1/s,s,t)
ans =
```

```

1
>> ilaplace(1/(s+a),s,t)
ans =
exp(-a*t)
ёки
 $e^{-at}$ 

>> ilaplace(a/(s^2+a^2),s,t)
ans =
a/(a^2)^(1/2)*sin((a^2)^(1/2)*t)
ёки
 $\frac{a \sin\left((a^2)^{\frac{1}{2}} t\right)}{(a^2)^{\frac{1}{2}}}$ 

>> ilaplace(s^(-n-1)*gamma(n+1),s,t)
ans =
t^n

>> ilaplace((s+a)/((s+a)^2+w^2),s,t)
ans =
exp(-a*t)*cos(w*t)
ёки
 $e^{-at} \cos(wt)$ 

>> ilaplace(gamma(n+1)*(s+a)^(-n-1),s,t)
ans =
exp(-a*t)*t^n
 $e^{-at} t^n$ 

>> syms t s
>> ilaplace(2*(s^2+4*s-1)/(s^2+4*s+29)/(s^2+4*s+5),s,t)
ans =
1/2*exp(-2*t)*sin(5*t)-1/2*exp(-2*t)*sin(t)
ёки
 $\frac{1}{2} e^{(-2t)} \sin(5t) - \frac{1}{2} e^{(-2t)} \sin(t)$ 

>> factor(ans)
ans =
1/2*exp(-2*t)*(sin(5*t)-sin(t))

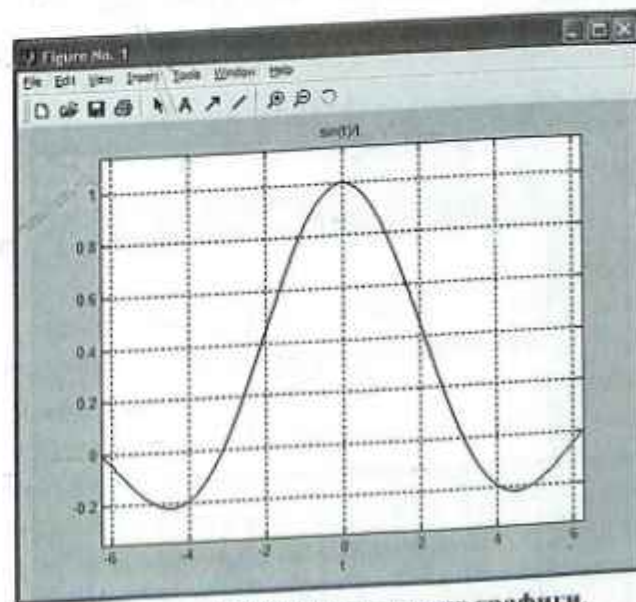
```

```

ёки
 $\frac{1}{2} e^{(-2t)} (\sin(5t) - \sin(t))$ 

>> syms s t w x y
>> ilaplace(1/(s-1))
ans =
exp(t)
>> ilaplace(1/(t^2+1))
ans =
sin(x)
>> ilaplace(t^(-sym(5/2)),x)
ans =
4/3*x^(3/2)/pi^(1/2)
>> ilaplace(y/(y^2+w^2),y,x)
ans =
cos((w^2)^(1/2)*x)
>> ilaplace(sym('laplace(F(x),x,s)'),s,x)
ans =
F(x)
>> ezplot(sin(t)/t',grid)

```

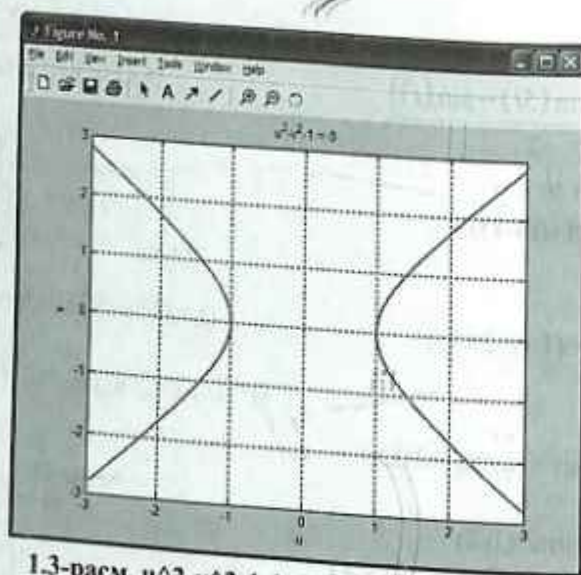


1.2-расм. $\sin(t)/t$ функциянинг графиги.

```

>> ezplot('u^2-v^2-1',[-3, 3, 3, -3]),grid

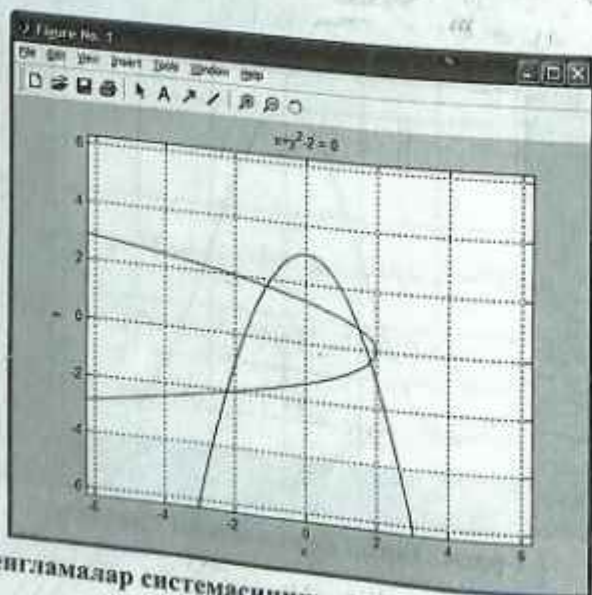
```



1.3-расм. u^2-v^2-1 функциянинг графиги.

Кейинги мисолда тенгламалар системаси канча ҳақиқий илдизга эга бўлишини аниқлаймиз.

```
>> syms x y
>> ezplot(x^2+y-3)
>> hold
Current plot hold
>> ezplot(x+y^2-2)
>> grid
```



1.4-расм. Тенгламалар системасининг ҳақиқий илдизларини аниқлаш.

```
>> S=solve('x^2+y=3','x+y^2=2',x,y);
>> vpa([S.x S.y],10)
ans =
[-1.111748656-.8917171598e-9*i, 1.764014925+.2527521585e-9*i]
[ 1.518610398+.8241378796e-10*i, .6938224571-.5939112169e-10*i]
[ 1.842915768-.2319018893e-10*i, -.3963385315-.2925553168e-10*i]
[-2.249777513-.6766066204e-9*i, -2.061498851-.1641055051e-9*i]
>> digits 10
Реал илдизлар.
>> real(ans)
ans =
[-1.111748656, 1.764014925]
[ 1.518610398, .6938224570]
[ 1.842915768, -.3963385315]
[-2.249777513, -2.061498851]
```

1.1.14. Symbolic Math пакетининг график имкониятлари

Символли функцияларнинг графиклари – **ezplot**

Фойдаланувчиларга график куришда қулайликлар яратиш учун Symbolic пакетига **ezplot** командаси киритилган. У куйидаги кўринишларга эга:

ezplot(f) – симболи берилган $f(x)$ функциянинг графигини мустақил ўзгарувчи x бўйича $[-2\pi, 2\pi]$ интервалда куради.

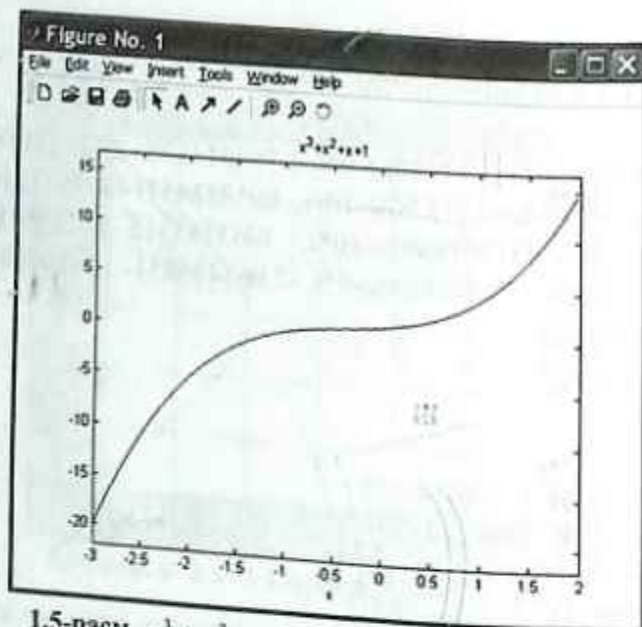
ezplot(f,xmin,xmax) – юқоридаги билан бир хил, фақат мустақил ўзгарувчи x бўйича $xmin$ дан $xmax$ гача бўлган интервалда график куради.

ezplot(f, [xmin, xmax, ymin, ymax]) – $f(x,y)=0$ функциянинг $xmin < x < xmax$, $ymin < y < ymax$ учун графигини куради.

Ягона ўзгарувчили функциялар графикларини куришнинг энг содда йўли **ezplot** командасидан фойдаланишдир. Ушбу команда символли ифодаalar ёки аноним функциялар билан ҳам ишлаши мумкин. Масалай, $x^3 + x^2 + x + 1$ функциянинг графигини -3 дан 2 гача бўлган интервалда куриш учун куйидагиларни киритамиз:

```
>> ezplot('x^3+x^2+x+1',[-3 2])
```

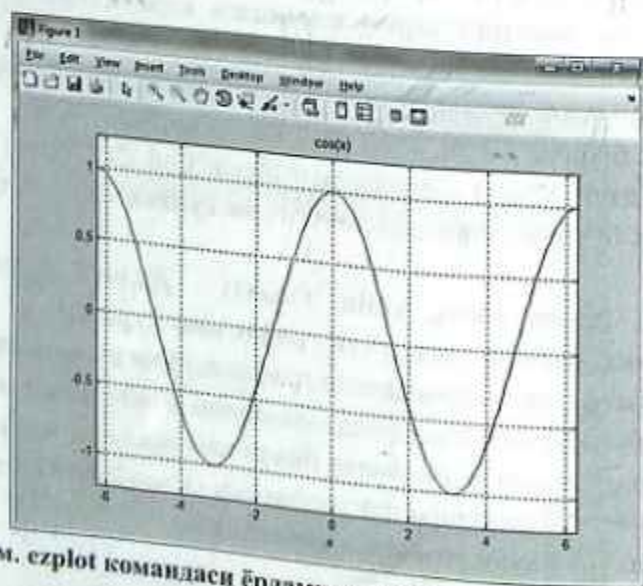
Курилган график 1.5-расмда келтирилган.



1.5-расм. $x^3 + x^2 + x + 1$ функциянинг графиги.

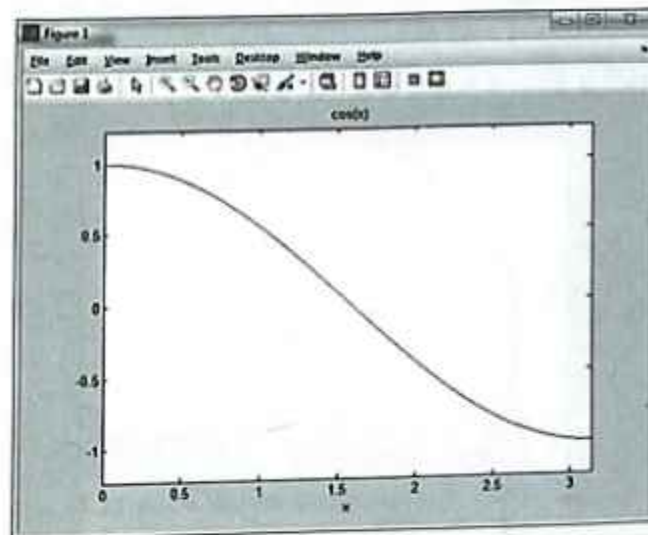
Кейинги мисолларда турли кўринишлардаги ezplot командаларидан фойдаланилган:

```
>> ezplot('cos(x)')
>> grid on
```



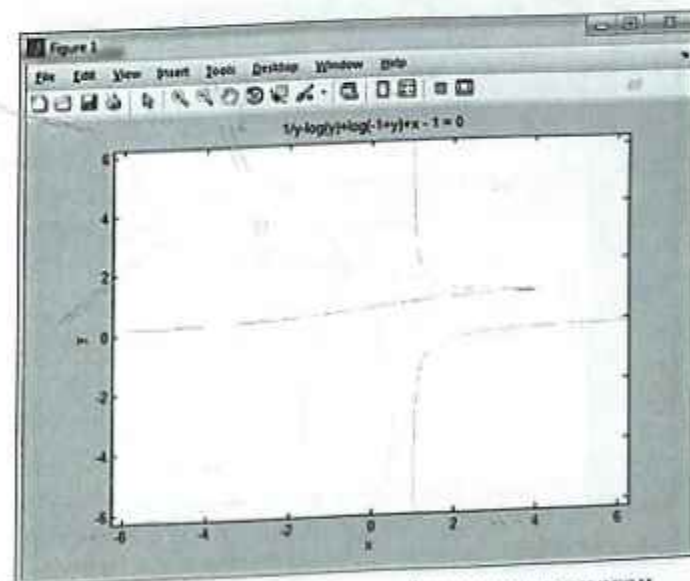
1.6-расм. ezplot командаси ёрдамида қурилган $\cos(x)$ функциянинг графиги.

```
>> ezplot('cos(x)', [0, pi])
```



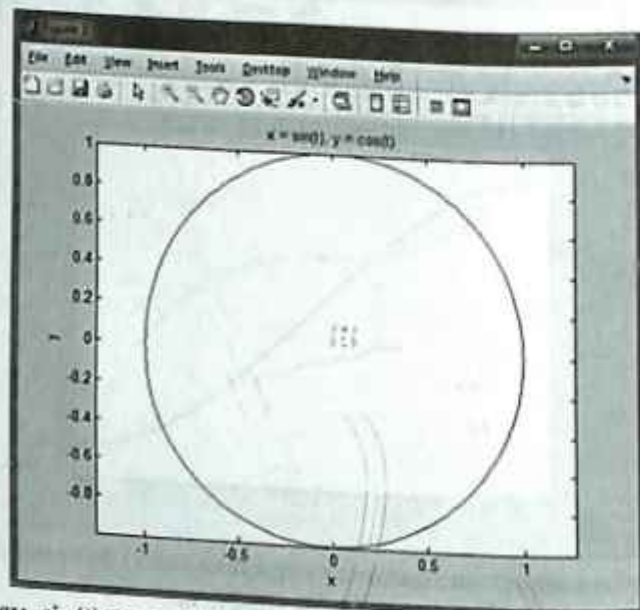
1.7-расм. ezplot командаси ёрдамида қурилган $\cos(x)$ функциянинг $[0, \pi]$ интервалдаги графиги.

```
ezplot('1/y-log(y)+log(-1+y)+x-1')
```

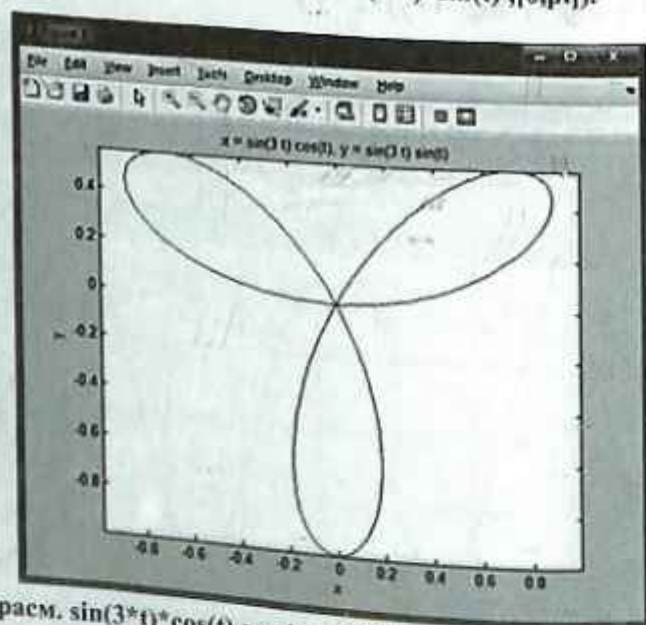


1.8-расм. ezplot командаси ёрдамида қурилган $\frac{1}{y} - \log(y) + \log(-1+y) + x - 1$ функциянинг графиги.

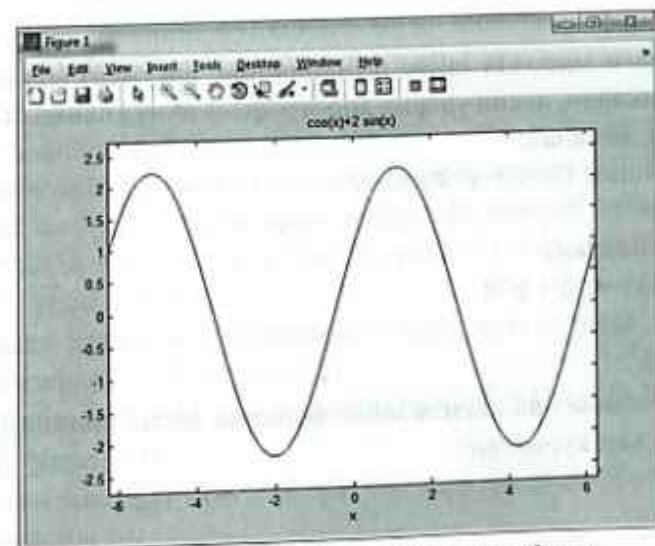
`ezplot('sin(t)','cos(t)')`



1.9-расм. $\sin(t)$ ва $\cos(t)$ функцияларнинг биргаликдаги графиги
`ezplot('sin(3*t)*cos(t)','sin(3*t)*sin(t)',[0,pi])`.



1.10-расм. $\sin(3*t)*\cos(t)$ ва $\sin(3*t)*\sin(t)$ функцияларнинг $[0, \pi]$ интервалдаги графиги.
`f = inline('cos(x)+2*sin(x)');
ezplot(f)`



1.11-расм. Inline функциянинг графиги

1.2. Фойдаланувчи томонидан бериладиган функциялар (аноним функциялар).

MATLAB ядросида кўплаб бириктирилган функциялар бўлишига қарамасдан айрим ҳолларда фойдаланувчига янги функциялар зарур бўлиб қолади. MATLAB тизимида фойдаланувчи функцияларини киритишнинг қатор йўллари мавжуд. Улардан бири `inline` функциясида фойдаланишдир. Унинг аргументи сифатида апострофлар ичига олинган бир ёки бир неча ўзгарувчининг функциясини берувчи ифода ёзилади. Қуйидаги мисолда икки ўзгарувчининг функцияси берилган:

```
>> y=inline('sin(x).^2+cos(y).^2')
```

ифода киритилиб «Enter» тугмаси босилса x ва y аргументларга эга бўлган $y(x,y)$ `inline` функция ҳосил бўлганлиги тўғрисида ахборот чиқади:

$y =$ Inline function:

$y(x,y) = \sin(x).^2 + \cos(y).^2$

Ҳосил қилинган функциядан MATLAB нинг бошқа функциялари сингари фойдаланишимиз мумкин, масалан:

```
>> y(0,0)
ans = 1
>> y(1,1)
ans = 1.5922
>> y(pi/2,pi/2)
```

```
ans = 1.0006
```

Юқоридаги мисолда inline функциянинг аргументларини дастурнинг ўзи аниқлади, лекин уларни апострофлар ичида алоҳида кўрсатиш ҳам мумкин, масалан:

```
>> g1 = inline('x^2 + y^2', 'x', 'y')
```

```
g1 =
```

Inline function:

```
g1(x,y) = x^2 + y^2
```

```
>> g1(1,2)
```

```
ans = 5
```

Қуйидаги мисолда иккита inline функция ҳосил қилиниб уларнинг графиклари ҳам қурилган:

```
clear all;
```

```
tic;
```

```
p = 50;
```

```
t = [-6 : 0.01 : 6];
```

```
f = inline('(t+2).*sin(t)', 't')
```

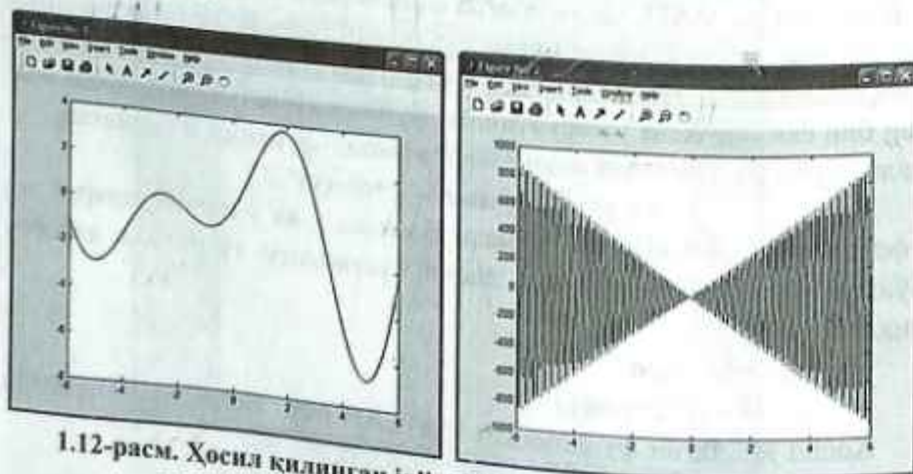
```
v = inline('3*f(p*t+2)', 't', 'f', 'p')
```

```
plot(t,f(t));
```

```
v(t,f,p);
```

```
figure;
```

```
plot(t,v(t,f,p));
```



1.12-расм. Ҳосил қилинган inline функцияларнинг графиклари.

Берилган $y = x^2 - 3x + 2$ функциянинг минимумини $[-5, 5]$ оралиқда топишни кўрайлик.

```
>> y=inline('x.^2-3*x+2');
```

% фойдаланувчининг функцияси ҳосил қилинади

```
>> x=-5:0.1:5;
```

% x векторнинг қийматлари

```
>> x1=fminbnd(y,-5,5);
```

% минимум нуктанинг x1 абсциссасини аниқлаш

```
>> % x1 ва y(x1) қийматларни экранга форматлаб чиқариш
```

```
>> fprintf('x = %2.1f ',x1); fprintf('ymin = %3.1f ',y(x1));
```

```
x = 1.5 ymin = -0.3
```

Натижани соддарок йўл билан ҳам олишимиз мумкин:

```
>> x=fminbnd(x.^2-3*x+2,-5,5);
```

```
>> fprintf('x = %2.1f ',x); fprintf('ymin = %3.1f ',x.^2-3*x+2);
```

```
x = 1.5 ymin = -0.3
```

Қуйидаги мисолда $f(x) = x^2 + y^2$ ифода учун inline функция ҳосил қилиш кўрсатилган:

```
>> f=inline('x^2+y^2','x','y')
```

ифода ва кириш аргументлари апостроф ичига олинади

«Enter» тугмаси босилса inline функция ҳосил бўлади

```
f =
```

Inline function:

```
f(x,y) = x^2+y^2
```

функциянинг ишлашини текшириб кўрамиз

```
>> f(4,5)
```

```
ans =
```

```
41
```

```
>> f=inline('x^3+y^2','x','y')
```

ифода ва кириш аргументлари апостроф ичига олинади

«Enter» тугмаси босилса inline функция ҳосил бўлади

```
f =
```

Inline function:

```
f(x,y) = x^3+y^2
```

функциянинг ишлашини текшириб кўрамиз

```
>> f(2,3)
```

```
ans =
```

```
17
```

```
>> f(3,2)
```

```
ans =
```

```
31
```

агар вектор қийматларни киритсак

```
>> f(1:3,2:4)
```

хатолик юзага келади

??? Error using ==> inlineeval at 15

Error in inline expression ==> x^3+y^2

Matrix must be square.

хатолик бўлмаслиги учун *, / ва ^ амалларининг олдида нукта кўямиз

```
>> f=inline('x.^3+y.^2','x','y')
```

f =

Inline function:

$f(x,y) = x.^3+y.^2$

```
>> f(1:3,2:4)
```

ans =

5 17 43

Фойдаланувчи томонидан бериладиган функциялар inline команда-
сидан ташқари @ оператори ёрдамида ҳам ҳосил қилиниши мумкин.

Функцияни @ оператори ёрдамида ҳосил қилиш:

@ операторидан кейин кириш аргументлари (кавс ичида) ва
ифода ёзилади

```
>> f1=@(x,y)x.^3+y.^2
```

«Enter» тугмаси босилса MATLABда функция ҳосил бўлади

f1 =

@(x,y)x.^3+y.^2

функциянинг ишлашини текшириб кўрамиз

```
>> f1(2,3)
```

ans =

17

```
>> f1(3,2)
```

ans =

31

```
>> f1(1:3,2:4)
```

??? Error using ==> mpower

Matrix must be square.

Error in ==> @(x,y)x.^3+y.^2

```
>> f1=@(x,y)x.^3+y.^2
```

f1 =

@(x,y)x.^3+y.^2

```
>> f1(1:3,2:4)
```

ans =

5 17 43

```
>> f1([1 2 3],[2 3 4])
```

ans =

5 17 43

1.3. Maple дастурининг ядроси

Symbolic Math Toolbox модулида бажарилиши зарур бўлган
ҳисоблашлар Maple дастурига юборилади ва Maple дастурининг
ядроси ҳисоблашларни бажариб, натижаларни MATLAB дастурига
кайтаради. Баъзи ҳолларда Maple дастурининг ядросига кириш зару-
рати юзага келиши мумкин. MATLAB дастурида Maple дастурининг
ядросига кириш учун maple ва mhelp командаларидан фойдаланиш
мумкин.

Куйида Maple дастурининг ядросидан фойдаланишга мисоллар
келтирилган:

1-мисол. $f = ma$ тенгламани a ўзгарувчига нисбатан ечиш.

```
>> maple solve(f=m*a, a)
```

ans =

f/m

Натижани $a = \frac{f}{m}$ кўринишида оламиз.

2-мисол. $\cos(x)=0$ тенгламанинг x га нисбатан ечимини $x = \frac{\pi}{2}$
кўринишда оламиз

```
>> maple solve(cos(x),x)
```

ans =

$\frac{1}{2}\pi$

3-мисол. $\cos(x)+y=0$ тенгламани x номаълумга нисбатан ечиб
 $x = \pi - a \cos(y)$ натижани оламиз.

```
>> maple solve(cos(x)+y,x)
```

ans =

$\pi - \arccos(y)$

4-мисол. $x^2+bx+c=0$ тенгламани x номаълумга нисбатан ечиб

$x = -\frac{b}{2} \pm \frac{(b^2-4c)^{\frac{1}{2}}}{2}$; $-\frac{b}{2} + \frac{(b^2-4c)^{\frac{1}{2}}}{2}$ натижани оламиз.

```
>> maple solve(x^2+b*x+c,x)
```

ans =

$-1/2*b+1/2*(b^2-4*c)^{(1/2)}, -1/2*b-1/2*(b^2-4*c)^{(1/2)}$

5-мисол

$$\left(\frac{\partial}{\partial x} y(x)\right) - y(x)^2 + y(x) \sin(x) - \cos(x) = 0$$

дифференциал тенгламанинг ечимини аниқлаш учун қуйидагиларни киритамиз:

>> maple dsolve(diff(y(x),x)-y(x)^2+y(x)*sin(x)-cos(x))
ва ечимни оламиз:

ans =

$$y(x) = \sin(x) - \exp(-\cos(x)) / (-C1 + \int \exp(-\cos(x)) dx)$$

ёки

$$y(x) = \sin(x) - \frac{e^{(-\cos(x))}}{-C1 + \int e^{(-\cos(x))} dx}$$

6-мисол

$$x^{(n-1)} \left(\frac{\partial}{\partial x} y(x)\right)^n - nx \left(\frac{\partial}{\partial x} y(x)\right) + y(x) = 0$$

дифференциал тенгламанинг ечимини аниқлаш учун қуйидагиларни киритамиз:

>> maple dsolve(x^(n-1)*diff(y(x),x)^n-n*x*diff(y(x),x)+y(x))
ва ечимни оламиз:

ans =

$$y(x) = (-x^n * (x^{(-1+1/n)} * C1)^n + x^{(1+1/n)} * n * C1) / x$$

ёки

$$y(x) = \frac{-x^n \left(x^{(-1+1/n)} C1\right)^n + x^{(1+1/n)} n C1}{x}$$

7-мисол. Иккинчи даражали чизикли

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2} y(x) = \frac{x^n (n-1 + x^n n - \cos(x) x) y(x)}{x^2} + \cos(x) \left(\frac{\partial}{\partial x} y(x)\right)$$

дифференциал тенгламани ечиш учун қуйидагиларни киритамиз:

>> mapledsolve(diff(diff(y(x),x),x)=x^n*n*(n-1+x^n*n-cos(x)*x)/x^2*

y(x)+cos(x)*diff(y(x),x))
ва ечимни оламиз:

ans =

$$y(x) = (\int (\exp(\sin(x)) / \exp(x^n)^{2*C1,x} + C2) * \exp(x^n) dx)$$

ёки

$$y(x) = \left(\int \frac{e^{\sin(x)} - C1}{(e^{(x^n)})^2} dx + C2 \right) e^{(x^n)}$$

8-мисол. Иккинчи даражали чизикли бўлмаган ва таркибида ихтиёрий функция (F) бўлган

$$F \left(\frac{\left(\frac{\partial}{\partial x} y(x)\right)(r+sx)}{u+wy(x)} \right) (u+wy(x))$$

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2} y(x) = \frac{(r+sx)^2}{(r+sx)^2}$$

дифференциал тенгламани ечиш учун қуйидагиларни киритамиз:

>> mapledsolve(diff(y(x),x,x)=F(diff(y(x),x)*(r+s*x)/(u+w*y(x)))*(u+w*y(x))/(r+s*x)^2)

ва ечимни оламиз:

ans =

$$y(x) = 1/w * \exp(w * (\int (\text{RootOf}(-\int (1/(-a*s+_a^2*w-F(-_a)), -_Z) - b+_C1, _b = \dots - \log(-r-s*x/s) + C2)) - 1/w * u$$

ёки

$$y(x) = \frac{\exp \left(\frac{\log(-r-sx)}{\int \text{RootOf}(-\int \frac{1}{-a*s+_a^2*w-F(-_a)} d_a - b+_C1) d_b + C2} \right)}{w} \ln \frac{1}{w}$$

9-мисол. Юкори даражали чизикли бўлмаган

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} y(x)\right) \left(\frac{\partial}{\partial x} y(x)\right) y(x) x^6 - 2 \left(\frac{\partial}{\partial x} y(x)\right)^3 x^6 + 2 \left(\frac{\partial}{\partial x} y(x)\right)^2 y(x) x^5 + y(x)^5 = 0$$

дифференциал тенгламани ечиш учун қуйидагиларни киритамиз:

>> maple dsolve(diff(diff(y(x),x),x)*diff(y(x),x)*y(x)*x^6-2*diff(y(x),x)^3*x^6+2*diff(y(x),x)^2*y(x)*x^5+y(x)^5)

ва ечимни оламиз:

ans =

$$y(x) = -3*x^3/(-2*x+_C1*x^2)^{(3/2)}+3*_C2*x^3$$

ёки

$$y(x) = -\frac{3x}{-(2x+_C1x^2)^{(3/2)}+3*_C2x^3}$$

10-мисол. Юкори даражали чизикли бўлмаган

$$\left(\frac{\partial}{\partial x} y(x)\right) \left(\frac{\partial^4}{\partial x^4} y(x)\right) - \left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} y(x)\right) \left(\frac{\partial^3}{\partial x^3} y(x)\right) + \left(\frac{\partial}{\partial x} y(x)\right)^3 \left(\frac{\partial^3}{\partial x^3} y(x)\right)$$

дифференциал тенгламани тартибни пасайтириш (Lie) йўли билан ечиш учун куйидагиларни киритамиз:

```
>> maple dsolve(diff(y(x),x)*diff(y(x),x,x,x,x)-diff(y(x),x,x)*diff(y(x),x,x,x)+diff(y(x),x)^3*diff(y(x),x,x,x), Lie)
```

ва ечимни оламиз:

ans =

y(x) = &where' (Int(1/exp(Int(h1(g), g) + C1)*g*h1(g), g) + C3, [diff(h1(g), g) = -3*g*(4+g)*h1(g)^3 + (10+g)*h1(g)^2 - 3/g*h1(g), {h1(g) = 1/diff(y(x),x)^3/(-diff(y(x),x)/diff(y(x),S'(x,2)))^3*diff(y(x),S'(x,3))+3/diff(y(x),S'(x,2))}, g = 1/diff(y(x),S'(x,2))*diff(y(x),x)^3, {x = Int(g/exp(Int(h1(g), g) + C1)^2*h1(g), g) + C2, y(x) = Int(1/exp(Int(h1(g), g) + C1)*g*h1(g), g) + C3})

ёки

$$\int \frac{1-g-h1(g)}{\left(\int h1(g)dg + C1\right)^2 dg + C3} & \text{where}$$

$$\left\{ \frac{\partial}{\partial g} h1(g) = -3g(4+g)h1(g)^3 + (10+g)h1(g)^2 - \frac{3h1(g)}{g} \right\},$$

$$h1(g) = \frac{1}{\left(\frac{\partial}{\partial x} y(x)\right)^3 \left(-\frac{\left(\frac{\partial}{\partial x} y(x)\right) \left(\frac{\partial^3}{\partial x^3} y(x)\right)}{\left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} y(x)\right)^3} + \frac{3}{\frac{\partial^2}{\partial x^2} y(x)} \right)}, \quad g = \frac{1 \left(\frac{\partial}{\partial x} y(x)\right)^3}{\frac{\partial^2}{\partial x^2} y(x)}$$

$$\left\{ x = \int \frac{-g-h1(g)}{\left(e^{\int h1(g)dg + C1}\right)^2 dg + C2}, y(x) = \int \frac{1-g-h1(g)}{e^{\left(\int h1(g)dg + C1\right)^2 dg + C3}} dg \right\}$$

11-мисол. Биринчи даражали

$$\left(\frac{\partial}{\partial x} y(x)\right) + 2y(x) = 0$$

дифференциал тенгламани умумий ечим:

```
>> maple dsolve(diff(y(x),x)+2*y(x))
```

ans =

$$y(x) = C1 \exp(-2*x)$$

ёки

$$y(x) = C1 e^{-2x}$$

Бошланғич y(0)=2 шартга асосан тенгламани қайтадан ечамиз:

```
>> maple dsolve({diff(y(x),x)+2*y(x),y(0)=2},y(x))
```

ans =

$$y(x) = 2 \exp(-2*x)$$

ёки

$$y(x) = 2e^{-2x}$$

12-мисол. Берилган

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} y(x)\right) - 2y(x) = 0$$

дифференциал тенгламани y(0)=1.2 ва y(1)=0.9=y' бошланғич шартларга асосан ечамиз:

```
>> maple dsolve({diff(y(x),x,x)-2*y(x)=0,y(0)=1.2,y(1)=0.9},y(x))
```

ans =

$$y(x) = -.88566464387 \sinh(2^{(1/2)}*x) + 1.2 \cosh(2^{(1/2)}*x)$$

ёки

$$y(x) = -.88566464387 \sinh\left(2^{\frac{1}{2}}x\right) + 1.2 \cosh\left(2^{\frac{1}{2}}x\right)$$

Тенгламани бирор функция, масалан f, оркали белгилаб ечиб кўрамиз. Бу ҳолда ҳам ифодалар Maple тили қондаларига асосан ёзилишига эътибор беринг. Фақат сўнги ; белгиси натижа экранга чиқарилиши керак бўлса ёзилмайди:

$$f := \text{diff}(y(x), S'(x,2)) - 2*y(x) = 0$$

```
>> maple dsolve({f,y(0)=1.2,y(1)=0.9},y(x))
```

ans =

$$y(x) = -.88566464387 \sinh(2^{(1/2)}*x) + 1.2 \cosh(2^{(1/2)}*x)$$

1.4. Маълумотларни жадвал кўринишида чиқариш

Битта сатрга бир неча ўзгарувчининг қийматларини чиқариш учун `disp` операторидан фойдаланиш мумкин. Лекин ушбу операторни қўллаш қондаларига мувофиқ унинг аргументи фақат битта (матн, ўзгарувчи ёки матрица) бўлиши мумкин. Ушбу чеклашни четлаб ўтиш учун бир нечта маълумотни (сонли ўзгарувчини) ягона объектга, вектор-сатрга бирлаштириш керак.

```
[x1, x2, ..., x].
```

Шундай қилиб

```
disp([x1, x2, ..., x])
```

оператор ёрдамида натижаларни маълумотлар жадвали кўринишида экранга чиқариш мумкин, масалан

```
>>t=0:10;
```

```
y=2*t;
```

```
disp([' i ' t(i) 'y(i) '])
```

```
for i=1:10
```

```
- disp([i,t(i),y(i)])
```

```
end
```

```
i t(i) y(i)
```

```
1 0 0
```

```
2 1 2
```

```
3 2 4
```

```
4 3 6
```

```
5 4 8
```

```
6 5 10
```

```
7 6 12
```

```
8 7 14
```

```
9 8 16
```

```
10 9 18
```

ёки кейинги мисолда жадвал сатрларининг номларини ҳам чиқариш учун иккита циклдан фойдаланилган

```
>> a=[' i ' x ' sin(x) '];
```

```
for i= 1:20
```

```
x=i/5;
```

```
si= sin(x);
```

```
if i==1
```

```
disp(a)
```

```
end
```

```
disp([i,x,si])
```

end

i	x	sin(x)
1.0000	0.2000	0.1987
2.0000	0.4000	0.3894
3.0000	0.6000	0.5646
4.0000	0.8000	0.7174
5.0000	1.0000	0.8415
6.0000	1.2000	0.9320
7.0000	1.4000	0.9854
8.0000	1.6000	0.9996
9.0000	1.8000	0.9738
10.0000	2.0000	0.9093
11.0000	2.2000	0.8085
12.0000	2.4000	0.6755
13.0000	2.6000	0.5155
14.0000	2.8000	0.3350
15.0000	3.0000	0.1411
16.0000	3.2000	-0.0584
17.0000	3.4000	-0.2555
18.0000	3.6000	-0.4425
19.0000	3.8000	-0.6119
20.0000	4.0000	-0.7568

```
t=0:10;
```

```
y=2*t;
```

```
disp([' i ' t(i) 'y(i) '])
```

```
for i=1:10
```

```
disp([i,t(i),y(i)])
```

```
end
```

```
i t(i) y(i)
```

```
1 0 0
```

```
2 1 2
```

```
3 2 4
```

```
4 3 6
```

```
5 4 8
```

```
6 5 10
```

```
7 6 12
```

```
8 7 14
```

```
9 8 16
```

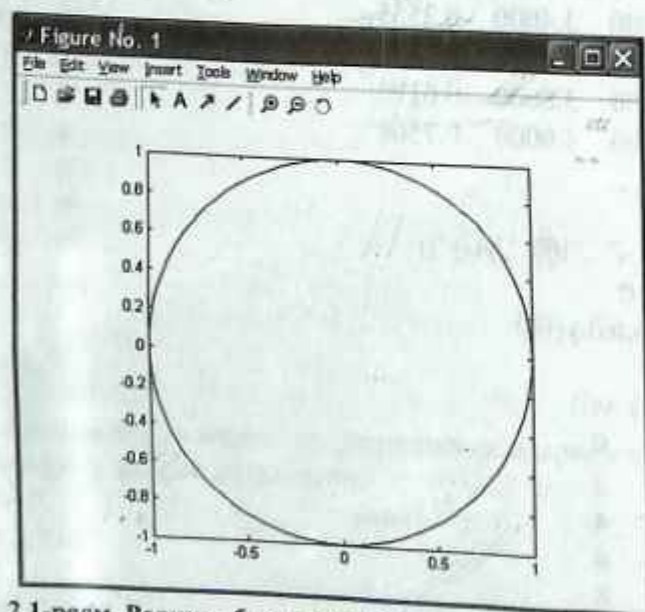
```
10 9 18
```

II БОБ. МАТЛАВ ДАСТУРИДА ГРАФИКА

2.1. Параметрик чизмалар

Айрим ҳолларда `plot(x,y)` командасидаги x ва y параметрга эга бўлган функция сифатида берилиши мумкин. Масалан, радиуси бирга тенг бўлган айлана (2.1-расм):

```
>> T = 0:0.01:1;  
» plot(cos(2*pi*T), sin(2*pi*T))  
>> axis square
```



2.1-расм. Радиуси бирга тенг бўлган айлана $x^2+y^2=1$.

Расмни чизишда фойдаланилган `axis square` командаси иккала ўқда ҳам бир хил шкала бўлишини таъминлайди.

Графикларни параметрик кўринишда чизишни `ezplot` командаси ёрдамида ҳам амалга ошириш мумкин:

```
>> ezplot('cos(t)', 'sin(t)', [0 2*pi]); axis square
```

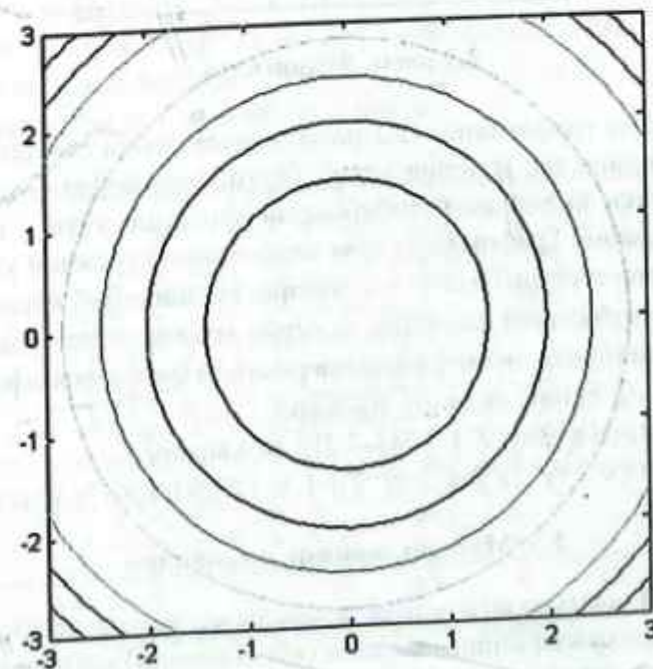
Эътибор беринг, `ezplot` командасидан кейин нуктали вергул қўйилган, лекин у графикни акс эттиришни тўхтатмайди. Нуктали вергул асосан матн чиқаришни таъинлайди.

2.2. Контурли ва якқол бўлмаган чизмалар

Икки ўзгарувчи функциянинг контурли чизмаси функция сатҳининг эгри чизикларини, яъни x - y текисликда функция ўзгармас қийматни қабул қиладиган нукталар тўпламини ифодалайди. MATLAB дастурида контурли чизмалар `meshgrid` ва `contour` командалари ёрдамида яратилади, `meshgrid` командаси берилган нукталар асосида тўр ҳосил қилади ва ундан фойдаланиб `contour` командаси контур чизмани юзага келтиради.

Мисол сифатида $x^2 + y^2$ учун контур чизмани яратишни кўрайлик (2.2-расм):

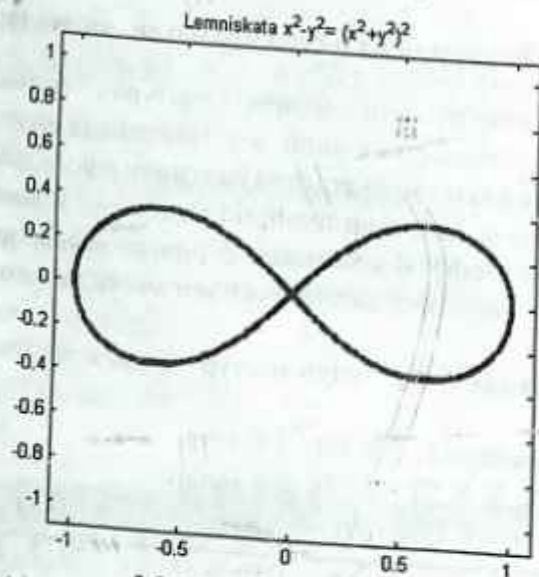
```
>> [X Y] = meshgrid(-3:0.1:3, -3:0.1:3);  
>> contour(X, Y, X.^2 + Y.^2); axis square
```



2.2-расм. $x^2+y^2=1$ учун контурли чизма.

Лемниската графигини куриш учун $x^2 - y^2 = (x^2 + y^2)^2$ ифодасини $(x^2 + y^2)^2 - x^2 - y^2 = 0$ кўринишида ёзиб оламиз ва куйидагиларни киритамиз:

```
>> [X Y] = meshgrid(-1.1:0.01:1.1, -1.1:0.01:1.1);
>> contour(X, Y, (X.^2+Y.^2).^2-X.^2-Y.^2,[0 0])
>> axis square
>> title('Lemniskata x^2-y^2=(x^2+y^2)^2')
```



2.3-расм. Лемниската.

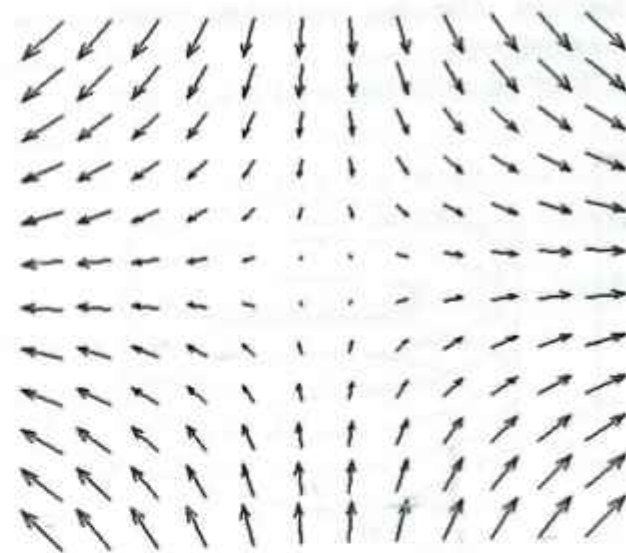
Лемниската графигининг (2.3-расм) сарлавҳасини ёзишда даражага кўтариш амалини ақс эттириш учун $\wedge$ белгисидан фойдаланилган. Шунингдек пастки индексдаги символларни кўрсатиш учун $_$ белгисини ишлатиш мумкин. Графикларда грек ҳарфларини кўрсатиш учун унинг номидан олдин тескари слэш ($\backslash$) белгисини қўйиш керак, масалан $\backslash$ theta. Контур чизмаларни ezcontour ва ezplot командалари ёрдамида ҳам олиш мумкин (бунда чизмалар сарлавҳаларига математик ифодалар автоматик тарзда ёзилиб қолади), масалан:

```
>> ezcontour('x^2+y^2',[-3 3],[-3 3]); axis square
>> ezplot('(x^2+y^2)^2-x^2-y^2',[-1.1, 1.1],[-1.1,1.1]); axis square
```

2.3. Майдонларнинг чизмалари

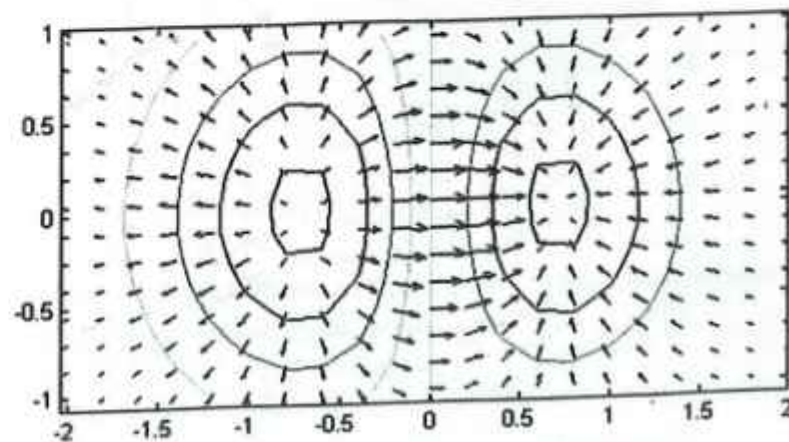
MATLAB дастуридаги quiver командаси вектор майдонлари ва стрелкалар массивларининг шаклини (кўринишини) ҳосил қилиш учун ишлатилади, масалан (2.4- ва 2.5-расм):

```
>> [x, y] = meshgrid(-1.1:0.2:1.1, -1.1:0.2:1.1);
>> quiver(x, -y); axis equal; axis off
```



2.4-расм. Вектор майдонининг чизмаси.

```
>> [x,y] = meshgrid(-2:.2:2,-1:.15:1);
z = x .* exp(-x.^2 - y.^2); [px,py] = gradient(z,.2,.15);
contour(x,y,z), hold on
quiver(x,y,px,py), hold off, axis image
```

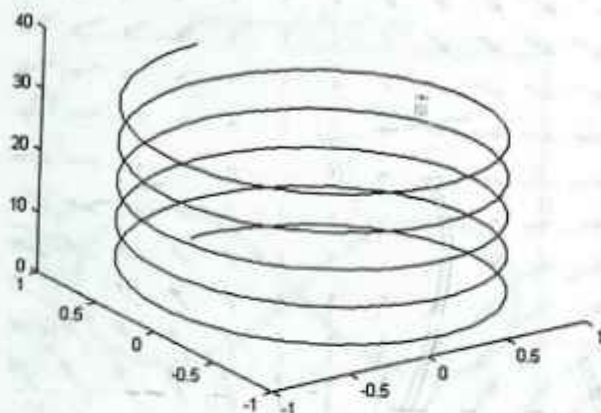


2.5-расм. Вектор майдонининг чизмаси.

2.4. Уч ўлчамли чизмалар

Уч ўлчамли фазода чизмаларни чизиш учун plot3 командасидан фойдаланилади. Масалан, спирални чизиш учун (2.6-расм) куйидагиларни киритамиз:

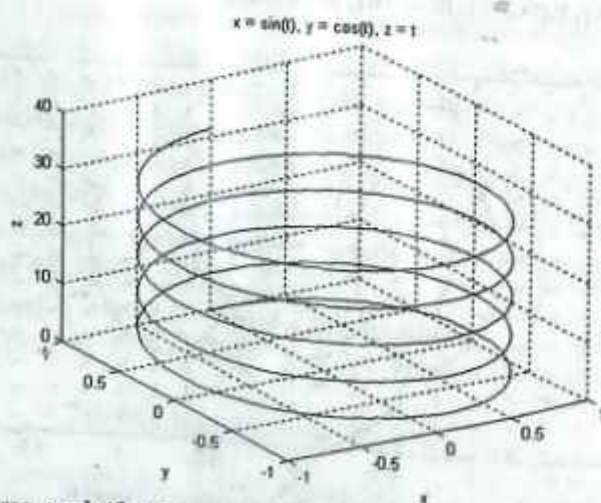
```
>> t = 0:pi/50:10*pi; plot3(sin(t),cos(t),t);
```



2.6-расм. Спиралнинг чизмаси $x=\sin(t)$, $y=\cos(t)$.

Юқорида келтирилган чизмани ezplot3 командаси ёрдамида ҳам чизиш мумкин (2.7-расм):

```
>> ezplot3('sin(t)', 'cos(t)', 't', [0, 10*pi])
```



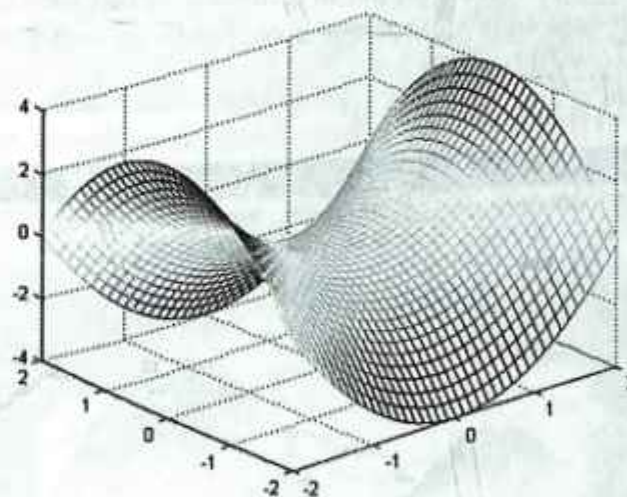
2.7-расм. ezplot3 командаси ёрдамида ҳосил қилинган чизма.

2.5. Уч ўлчамли фазодаги сиртлар (юзалар)

Уч ўлчамли фазодаги сиртларни чизиш учун асосан mesh ва surf командалари ишлатилади. Уларнинг биринчиси шаффоф тўрли сиртни ҳосил қилади. Ҳар бир командадан икки хил йўл билан фойдаланиш мумкин: z координата x ва y дан функция сифатида берилган сиртларни чизиш ва x , y ва z координаталарнинг ҳар бири бошқа иккита параметрнинг функцияси сифатида берилган параметрик сиртларни яратиш учун.

Масалан, $z=f(x,y)$ кўринишида берилган $z=x^2-y^2$ сиртни куйидагиларни киритиб чизиш мумкин:

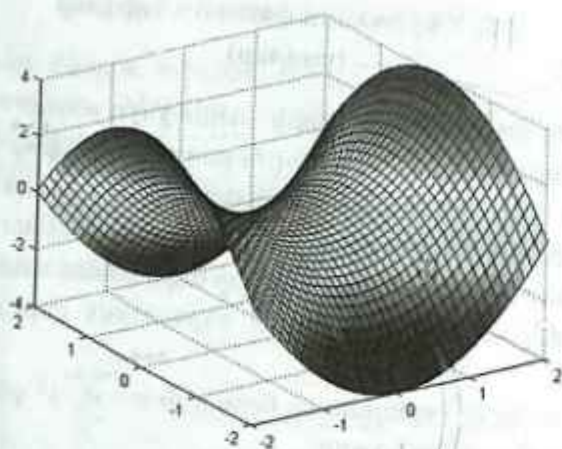
```
>> [X, Y] = meshgrid(-2:0.1:2, -2:0.1:2);
>> Z = X.^2-Y.^2; mesh(X,Y,Z)
```



2.8-расм. Шаффоф $z=x^2-y^2$ сирт.

Шаффоф бўлмаган сиртни чизиш учун mesh командасини surf командасига алмаштирамиз (2.9-расм):

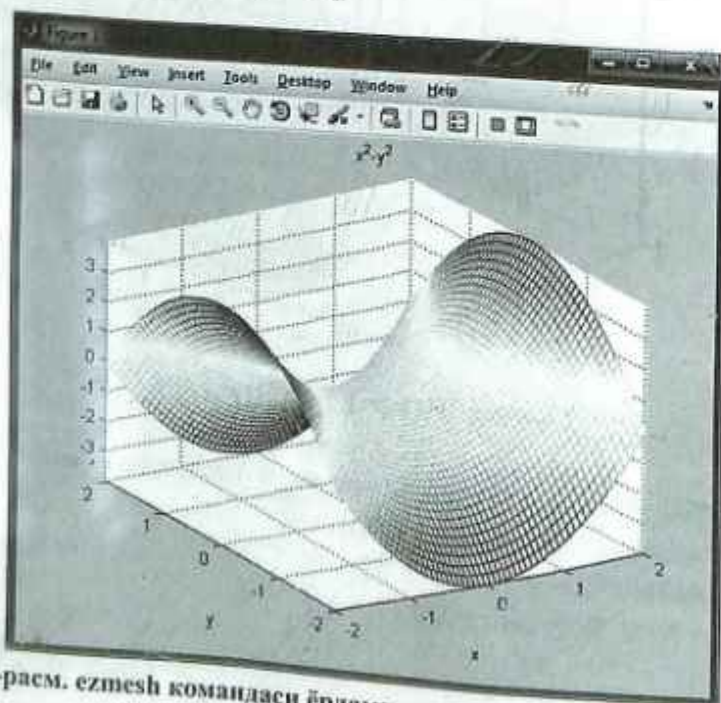
```
>> ezmesh('x^2-y^2', [-2, 2 -2, 2])
>> Z = X.^2-Y.^2; surf(X,Y,Z)
```



2.9-расм. surf командаси ёрдамида олинган шаффоф бўлмаган $z = x^2 - y^2$ сирт.

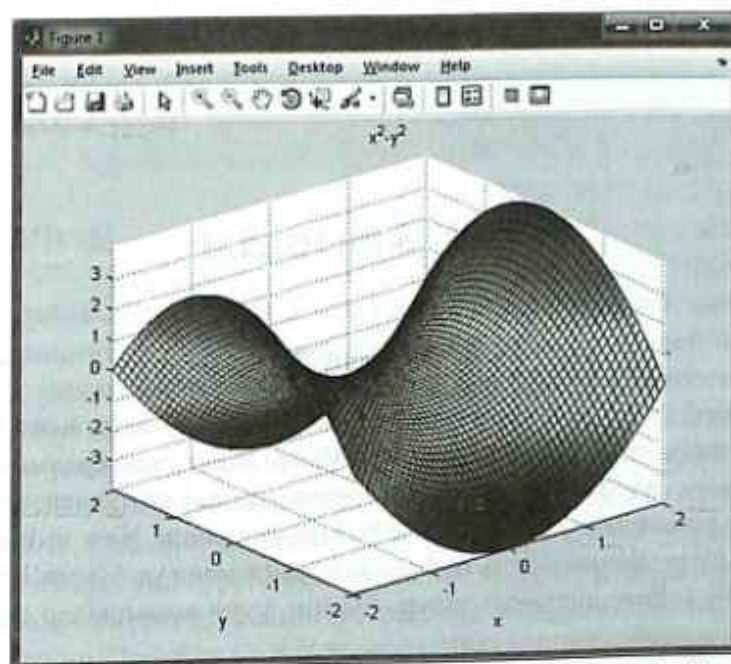
Бундан ташқари қисқартирилган ezmesh ва ezsurf командалари ҳам мавжуд. Улар ёрдамида ҳам юқарида келтирилган чизмаларни чизиш мумкин (2.10- ва 2.11-расм):

>> ezmesh('x^2-y^2',[-2,2 -2,2])



2.10-расм. ezmesh командаси ёрдамида олинган шаффоф бўлмаган $z = x^2 - y^2$ сирт.

>> ezsurf('x^2-y^2',[-2,2 -2,2])



2.11-расм. ezsurf командаси ёрдамида олинган шаффоф бўлмаган $z = x^2 - y^2$ сирт.

III БОБ. М-КИТОБЛАР

3.1. М-китобни ишга тушириш

М-китоб MATLAB дастурининг бажарилувчи кодига эга бўлган Word ҳужжатдир. У макрос сифатида Visual Basic тили ёрдамида ишга туширилади. М-китобни ишга тушириш учун командалар ойнасида notebook командаси киритилади ёки File менюсида New m-book танланади. Агар компьютерда m-book.dot файл мавжуд бўлмаса m-book режимини активлаштириш зарур. Бунинг учун командалар ойнасида куйидаги команда киритилади:

```
>> notebook -setup
```

ва экранда ҳосил бўлган инструкциялар бажарилади.

Word дастурининг шаблонлари жойлашган папкага MATLAB нинг notebook\pc папкасида m-book.dot шаблоннинг нусхасини жойлаштириш ҳам мумкин.

М-китобни ишга тушириш учун командалар ойнасида

```
>> notebook
```

командаси терилади. Мавжуд м-китобни ишга тушириш учун куйидаги команда киритилади:

```
>> notebook <m-book>
```

бу ерда <m-book> нинг ўрнига одатда .doc кенгайтмага эга бўлган М-китобнинг номи киритилади.

3.2. Notebook (Блокнот) менюсининг элементлари

Notebook менюсининг биринчи Define Input Cell (Киритиш ячейкасини аниқлаш) командаси танланганда матн курсори турган сатр киритиш сатрига айланади. Ушбу сатрда ҳисоблашни бажариш учун курсор устига олиб келинади ва Ctrl + «Enter» тугмалари босилади ёки Notebook менюсидан Evaluate Cell (Ячейкани ҳисоблаш) б...

неча сатрдан иборат киритиш ячейкасини ҳосил қилиш мумкин, масалан:

```
syms x y
factor(x^2 - y^2)
```

```
ans =
(x-y)*(x+y)
```

Юқорида келтирилган иккита сатр битта ячейкага мансублигини ячейканинг маркери бўлган квадрат қавслардан билиб олишимиз мумкин. Маркерларни олиб ташлаш учун Notebook менюсидан Hide Cell Markers (Ячейка маркерларини беркитиш) командаси танланади. Бир неча алоҳида ячейкаларни бирлаштириш учун Notebook менюсидаги Group Cells (Ячейкаларни гуруҳлаш) командаси ишлатилади. Бирлашган ячейкани алоҳида ячейкаларга ажратиш учун Ungroup Cells (Ячейкаларни гуруҳларга ажратиш, бўлиш) командасидан фойдаланилади. Агар ячейканинг устида сичқончанинг чап тугмаси босилиб, кейин Undefine Cells (Ячейканинг киритиш ячейкаси эканлигини бекор қилиш) командаси танланса ячейка оддий Word форматига ўтади.

М-китобнинг бир қисми ёки ҳаммаси белгиланиб Purge Selected Output Cells (Танланган чиқариш ячейкаларини тозалаш) командаси бажарилса белгиланган соҳадаги ҳамма чиқариш ячейкалари ўчириб ташланади. Ушбу командадан фойдаланиш, айниқса маълумотларни ўзгартириб натижаларни қайтадан олиш зарур бўлганда қўл келади. М-китобни Evaluate m-book (М-китобни ҳисоблаш) командасидан фойдаланиб тўлиқ ҳисоблаш мумкин.

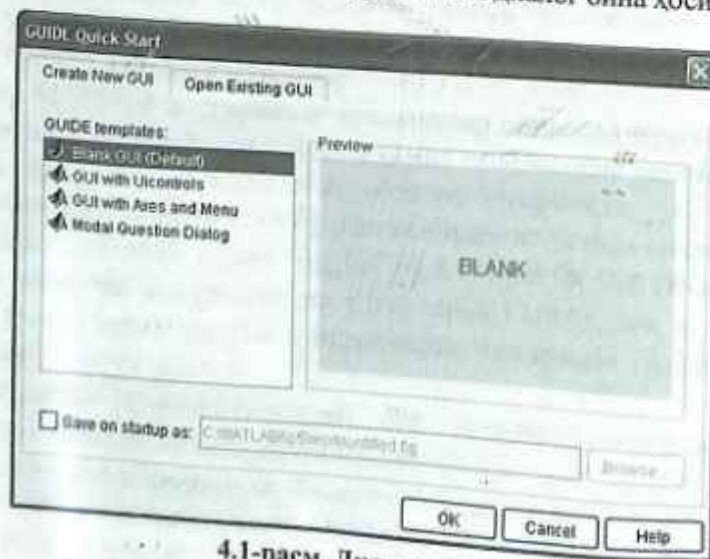
Агар м-китобда цикл бўлса ҳисоблаш учун у ажратилади ва Evaluate Loop (Циклни ҳисоблаш) командаси бажарилади. Цикл битта ячейканинг ичида жойлашган бўлса Evaluate Cell (Ячейкани ҳисоблаш) командасидан фойдаланиш мумкин.

Айрим киритиш ячейкаларини м-китоб очилаётган вақтда автоматик тарзда ҳисоблаш зарур бўлса, улар белгиланиб, Define AutoInit Cell (Ячейкани автоматик ҳисоблаш) командаси танланади. Ушбу ячейкалардаги матн тўқ зангори рангга ўзгаради. Агар командаларнинг айрим қисмини, айтайлик қайталанувчи ҳисоблашлар учун ажратиш зарур бўлса, улар белгиланиб Define Calc Zone (Ҳисоблаш зонасини...

IV БОБ. ТИПИК МАСАЛАЛАРНИ ЕЧИШ УЧУН ИЛОВАЛАРНИ ЯРАТИШ

4.1. Масаланинг қўйилиши

MATLAB ёрдамида хусусий функциялардан ташқари иловаларни ҳам яратиш мумкин. Илова яратиш учун менюнинг **File -> New -> GUI** пункти танланади (Graphical User Interface — фойдаланувчининг график интерфейси). Экранда 4.1-расмда кўрсатилган диалог ойна ҳосил бўлади.



4.1-расм. Диалог ойна.

Ойнада **Create New GUI** (GUI яратиш) ва **Open Existing GUI** (мавжуд GUI ни очиш) бўлимлари мавжуд. Янги илова яратаётганлигимиз сабабли **Create New GUI** бўлимини танлаймиз ва ундаги **GUIDE Templates** (GUI шаблонлари) рўйхатидан **Blank GUI (Default)** (қўйилган)ни танлаймиз.

дастури ёрдамида яратилаётган илованинг интерфейсини лойиҳалаш, унда жойлашадиган элементларнинг функцияларини дастурлаш мумкин.



4.2-расм. GUIDE мухитининг ойнаси.

4.2. GUIDE мухитининг бошқариш элементлари

GUIDE мухитининг бошқариш элементлари билан танишиб чиқайлик. Меню бўлимидаги айрим элементларнинг вазифалари қуйидагилар:

Edit | Duplicate (Тузатиш | Такрорлаш, нусхасини олиш) пункти ажратилган элементнинг нусхасини тезлик билан олиш имкониятини беради.

View | Property Inspector (Кўриниш | Хоссалар инспектори) пункти экранга ажратилган элементларнинг хоссаларини чиқаради. Асбоблар панелидаги  тугма ҳам худди шундай вазифани бажаради;

View | Object Browser (Кўриниш | Объектларни кўриш ойнаси) пункти экранга ажратилган объектларнинг жойлашган бошқарув элементларини экранга

View | M-file Editor (Кўриниш | m-файллар таҳрирлагичи) пункти бошқариш элементлари функцияларини амалга оширувчи дастур жойлашган файлни кўриш ва таҳрир қилиш имконини беради.

Layout менюси

Layout | Snap to Grid (Белгилаш | Тўрға боғлаш) пункти объектларга график интерфейсга жойлаштирилган тўрға тортилиш хусусиятини беради. Ушбу менюнинг қолган тўртта пункти устма-уст жойлашган объектлардан бирини орқа планга ёки олдинги планга силжитиш учун хизмат қилади.

Tools менюси

Tools | Run (Сервис | Ишга тушириш) пункти дастурни ишга туширади. Асбоблар панелидаги  тугма ҳам худди шундай вазифани бажаради;

Tools | Align Objects (Сервис | Объектларни текислаш) пункти ёрдамида объектларнинг ўзоро жойлашувини текислаш учун диалог ойна очилади. Асбоблар панелидаги  тугма ҳам худди шундай вазифани бажаради;

Tools | Grid and Rulers (Сервис | Сетка ва линейкалар) пункти босилганда чақириладиган диалог ойна ёрдамида сеткани, вертикал ва горизонтал линейкаларни кўрсатиш ёки беркитиш мумкин.

Tools | Menu Editor (Сервис | Меню таҳрирлагичи) пункти босилганда чақириладиган диалог ойна ёрдамида асосий ва контекст менюларни лойиҳалаш мумкин. Асбоблар панелидаги  тугма ҳам худди шундай вазифани бажаради.

4.3. Бошқариш элементлари панели

Бошқариш элементлари панелида график интерфейс майдонига жойлаштириш учун қуйидаги бошқариш элементлари мавжуд:

-  – объектларни белгилаш режимига ўтиш;
-  – тугма;
-  – улаб-узгич;
-  – матн киритиш майдони;
-  – ўтказиш соҳаси;
-  – рўйхат;
-  – информацияни график ва диаграммалар кўринишида чиқариш;

 – тугма-улаб узгич;

 – байроқча;

 – белги (таҳрирланмайдиган матн майдони);

 – рамка;

 – очилувчи рўйхат.

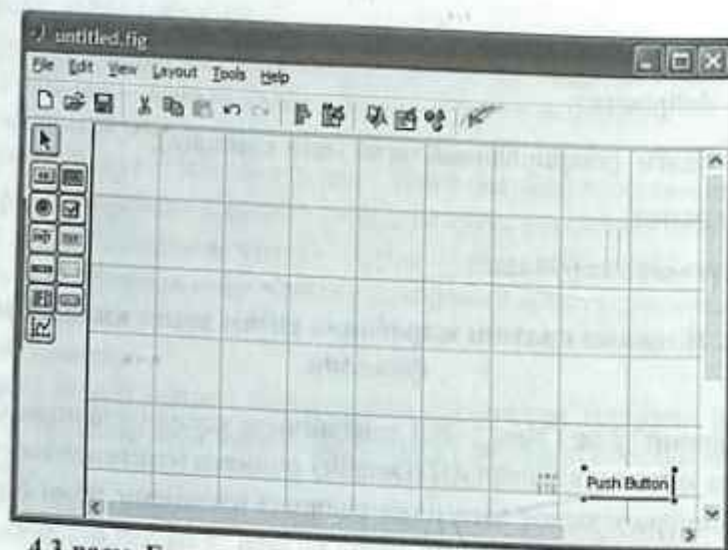
4.4. Иловани яратиш жараёнида тизим ҳосил қиладиган файллар

Менюнинг File | New | GUI танланганда ҳосил бўладиган GUIDE Templates ойнасида Blank GUI (Default) опцияси (созлаш менюси) танланиши биланок тизим автоматик равишда илованинг номи билан fig ва m кенгайтмали иккита файл ҳосил қилади. Улардан биринчиси, fig кенгайтмали файл, график интерфейсга жойлаштирилган бошқариш элементлари тўғрисидаги ахборотни ўз ичига олади. Иккинчиси, яъни m кенгайтмали файлда дастур бўлади. Ушбу дастур фойдаланувчининг ҳаракатларидан бошқариш элементларининг таъсирланишини таъминлайди.

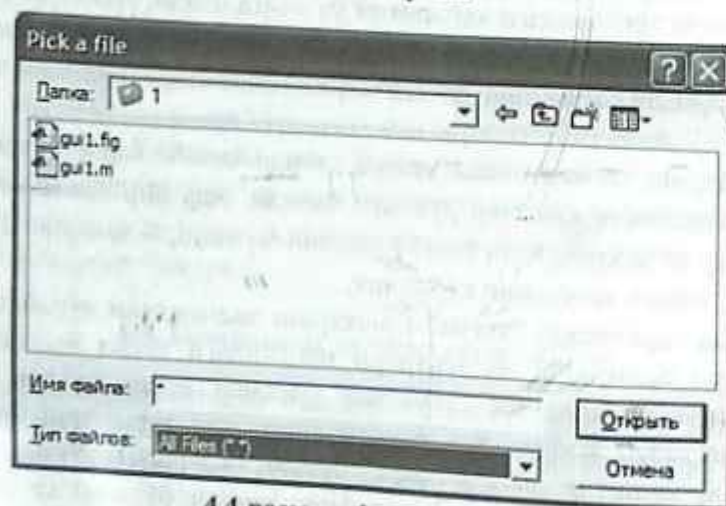
Бошқариш элементининг устида сичқончанинг чап тугмаси икки марта босилганда хоссалар рўйхати чиқади. Ҳар бир бошқариш элементи бир неча ходисадан таъсирланиши мумкин. Бошқариш элементининг Callback хоссасини кўрайлик.

Мисол тариқасида “тугма” бошқариш элементини кўрайлик. Бунинг учун бошқариш элементлари панелидаги тугма белгиси  устида сичқончанинг чап тугмасини босамиз, кейин график интерфейснинг зарур жойида яна сичқончанинг чап тугмасини босамиз. Тугманинг хошияли тасвири ҳосил бўлади (4.3-расм). Унинг белгиланган ҳолатида (тасвирнинг атрофида хошия бўлади) силжитиш, ўлчамларини ўзгартириш ва бошқа амалларни бажариш мумкин.

Тугма тасвирининг устида сичқончанинг чап тугмасини икки марта тўхтовсиз боссак элемент хоссаларининг рўйхати ҳосил бўлади. Таг хоссасининг қийматини дарҳол бериш мақсадга мувофиқ. Чунки кейинчалик у билан бошқа ост дастурлардан ишлашни соддалаштиради. Таг хоссасининг қийматини myButton деб ўзгартирамиз (умуман олганда ўзгартирмаслик ва дастур берган ном билан иш кўриш ҳам мумкин). Иловани ном бериб (масалан, gui1) сақлаймиз ва сақланган жойдан m-файлни очамиз.



4.3-расм. Бошқариш элементини график интерфейсга жойлаштириш.



4.4-расм. m-файлни очиб.

Очиладиган m-файл матнида куйидаги сатрлар мавжуд (4.4-расм):
`% Executes on button press in myButton` — тугма босилганда (аниқроғи босиб кўйиб юборилганда) бажарилади;
`function myButton_Callback(hObject, eventdata, handles);`
`% hObject handle to myButton` — myButton тугмасининг тавсифлов-
 чиси;
`% eventdata reserved` — кейинги версиялар учун захирага олинган
 ва ишлатилмайди;

`% handles structure with handles` — элементлар тавсифловчилари-
 нини ўз ичига олувчи структура.

Функциянинг (ост дастурнинг) сарлавҳаси
`function myButton_Callback(hObject, eventdata, handles)`

бошқариш elementi ҳосил қилинаётганда тизим томонидан авто-
 матик тарзда ёзиб қўйилади. Дастурдаги изоҳлар % белги билан бош-
 ланади.

Функциянинг myButton_Callback номи функция myButton элемен-
 тининг callback хоссасига хизмат кўрсатишини аниқлатади. Функция-
 дан объектга мурожаат қилишнинг иккита усули бор:

♦ **Биринчи усул.** hObject аргументи орқали.

♦ **Иккинчи усул.** handles аргументи орқали.

Айтилганларни илова яратиш жараёнида кўриб чиқамиз.

4.5. Илова устида ишлаш

Илова яратишни функциянинг минимумини топиш мисолида
 кўрайлик. Бажариладиган амалларни тушунишни осонлаштириш учун
 масалани бир неча босқичга бўламиз:

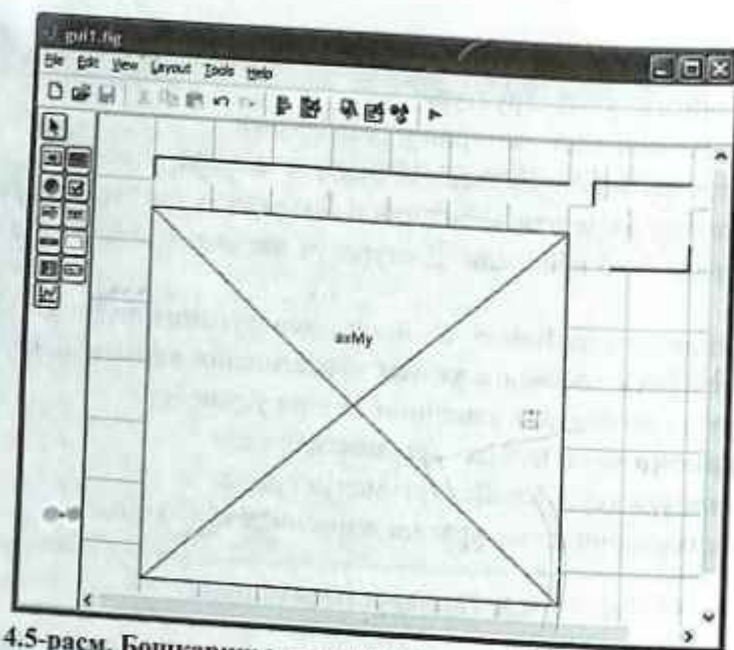
- биринчи босқич — аналитик ифоданинг графикни берилган ин-
 тервалда қуриш;
- иккинчи босқич — илдизларни излаш ва локал минимумни то-
 пиш масалаларини ечиш;
- учинчи босқич — қўшимча бошқариш элементларини ҳосил
 қилиш.

4.5.1. Биринчи босқич

Биринчи босқичда қуйидаги бошқариш элементларини график ин-
 терфейсга жойлаштирамиз:

- ифодаларни киритиш учун матн киритиш elementi;
- интервал чегараларини киритиш учун матн киритиш elementi;
- графикни чиқариш учун ўқлар;
- графикни қуриш учун тугма.

Биринчи матн киритиш элементининг Tag хоссасини edEquation
 қийматга, иккинчи матн киритиш элементининг Tag хоссасини
 edInterval қийматга, ўқларнинг Tag хоссасини axMu қийматга, тугма-
 нинг Tag хоссасини btnPlot га ўзгартирамиз ва ҳар бир элементнинг
 string хоссасини тозалаймиз (4.5-расм).



4.5-расм. Бошқариш элементларини график интерфейсга жойлаштириш.

Иловани асбоблар панелидаги  тугмани босиб ишга туширамиз. Илова ишга туширишдан олдин тизим иловани сақлаш ва унга йўл кўрсатишни таклиф қилиши мумкин. Илова ишга тушгандан кейин унга ифодани (масалан, $\sin(x)$) ва чегараларни (масалан, $(-3, 3)$) киритишимиз мумкин. График куриш учун тугмани боссақ элементлар ишлаётганлигини, лекин график қурилмаётганлигини кўришимиз мумкин.

Графикнинг қурилиши учун тугма босилганда маълум тартибда командалар кетма-кетлиги бажарилиши керак. Бундай кетма-кетликни ёзиш учун асбоблар панелидаги  тугмани босиб m-файл тахрирлаш учун чакирилади. Худди шу натижани график интерфейсидаги элементнинг устида сичкончанинг ўнг тугмасини босиб, ҳосил бўладиган контекст менюда **View Callbacks | Callback** (Кўриниш Callback-функциялар | Callback) нинг устида чап тугмани босиб олиш мумкин. Очилган m-файлда керакли функцияни (мисолимизда `btnPlot_Callback`) топамиз ва унга керакли қўшимчаларни киритамиз:

```
% Executes on button press in btnPlot.
function btnPlot_Callback(hObject, eventdata, handles);
% hObject handle to btnPlot (see GCBO);
% eventdata reserved — to be defined in a future version of MATLAB;
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA
```

```
interval=str2num(get(handles.edInterval,'String'));
f=inline(get(handles.edEq,'String'));
fplot(f,interval);
```

Дастурнинг сарлавҳасини аввал кўриб чиққан эдик. Киритилган куйидаги

```
get(handles.edInterval,'String')
```

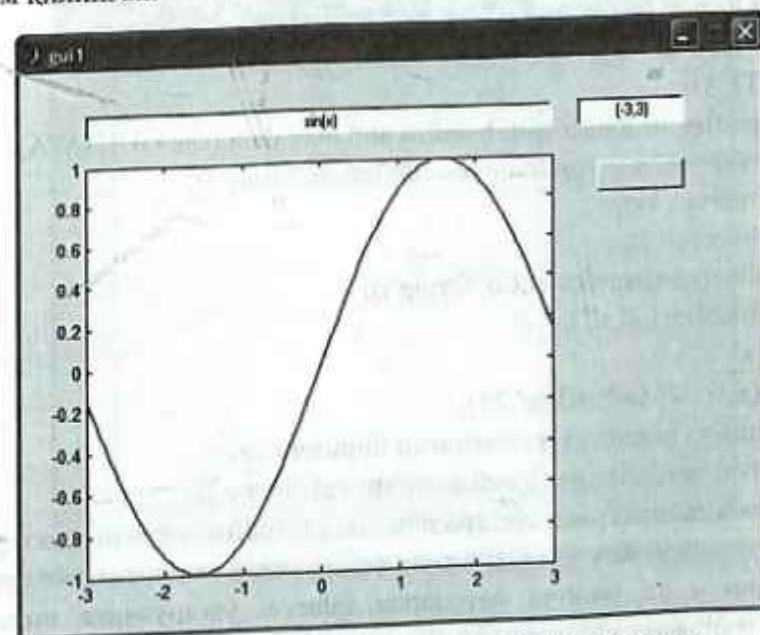
командалар кетма-кетлигида `get()` функцияси аниқ объектнинг (бизнинг мисолимизда `edInterval`) аниқ хоссасини (бизнинг мисолимизда `string`) ўқиш (қабул қилиш) имкониятини беради. Объектга қандай мурожаат қилинишига эътибор беринг, `handles` структурасидан кейин нукта қўйилади ва объектнинг идентификатори ёзилади — `handles.edInterval`.

Сатрнинг қийматини сон қийматга айлантириш учун `str2num()` функциядан фойдаланилади, олинган қиймат `interval` номи ўзгарувчига берилади.

Сатрни функцияга айлантириш учун `inline()` функциянинг аргументи сифатида `get()` функциясидан фойдаланилган:

```
inline(get(handles.edEq,'String'))
```

Сатр функцияга айлантиригандан кейин унга бириктирилган функцияларга мурожаат қилингандек мурожаат қилиниши мумкин, масалан `f(2)`, чунки `inline()` функциясининг ишлаш натижаси `f` ўзгарувчига тақдим қилинган.



4.6-расм. Функциянинг графикни ҳосил қилиш.

Берилган интервалда (interval) f функциянинг графигини куриш учун `fplot(f, interval)` ифодадан фойдаланилган.

Иловани асбоблар панелидаги  тугмани босиш йўли билан ишга туширамиз ва ифодани (масалан $\sin(x)$) ва интервал чегараларини (масалан, $[-3, 3]$) киритамиз. Иловадаги `btnPlot` тугмасини босиб 4.6-расмда кўсатилган графикни оламиз.

Илованинг асоси тайёр бўлди. Энди уни мукаммаллаштиришга ўтамиз.

4.5.2. Иккинчи босқич

Илованинг график интерфейсига **Min** ва **Zero** тугмаларини жойлаштирамиз ва биринчи тугманинг `Tag` ва `string` хоссаларига `btnMin` ва `Min` қийматларни, иккинчи тугманикига эса мос равишда `btnZero` ва `Zero` қийматларни берамиз.

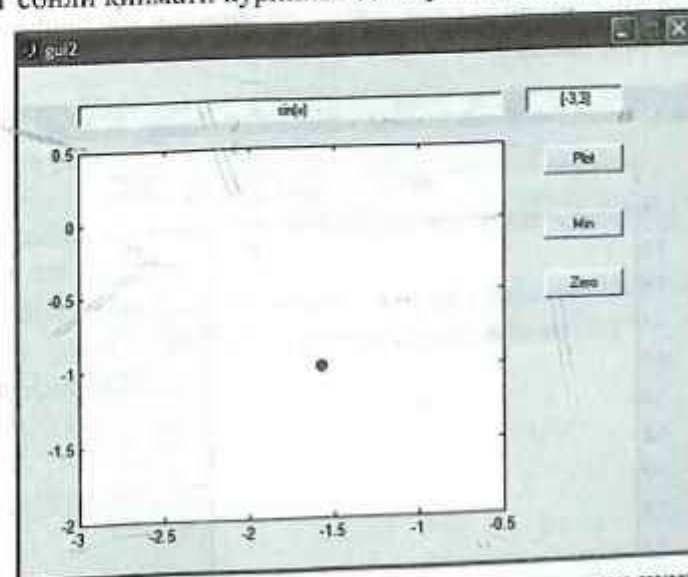
Энди **Min** тугмаси босилганда бажарилиши зарур бўлган дастурни киритамиз. Бунинг учун `m-файл`ни очамиз, `btnMin_Callback()` функцияни топамиз ва унга қўшимча равишда минимумни аниқлаш дастурини киритамиз:

```
% Executes on button press in btnMin.
function btnMin_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to btnMin (see GCBO)
% eventdata reserved — to be defined in a future version of
MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
interval=str2num(get(handles.edInterval,'String'));
x1=interval(1);
x2=interval(2);
f=inline(get(handles.edEq,'String'));
x=fminbnd(f,x1,x2);
y=f(x);
plot(x,y,'r','MarkerSize',25);
Қўшимча равишда киритилган биринчи сатр:
interval=str2num(get(handles.edInterval,'String'));
ёрдамида интервал чегараларини ўз ичига олувчи вектор-сатр
хосил қилинади ва у interval номли ўзгарувчига тақдим қилинади.
Иккинчи ва учинчи сатрларда interval ўзгарувчига индекслар
бўйича мурожаат қилинади ва вектор сатрнинг биринчи ҳамда иккин-
чи элементлари мос равишда x1 ва x2 ўзгарувчиларга тақдим қилинади:
```

```
x1=interval(1);
x2=interval(2);
Қуйидаги
f=inline(get(handles.edEq,'String'));
сатр edEquation майдонига ёзилган ифодани функцияга айлантира-
ди.
```

Қуйидаги `x=fminbnd(f,x1,x2)` ифодада бириктирилган `fminbnd()` функция берилган интервалда бир ўзгарувчилик функциянинг локал минимумини излайди. Олинган натижа `x` ўзгарувчига тақдим қилинади.

Аниқланган локал минимумнинг абсциссасини аргумент сифатида `y=f(x)`; ифодага қўйиб минимумга мос келувчи координатани топамиз. Функциянинг минимумига мос келувчи координаталари `x`, `y` бўлган нуктани графикда кўрсатиш учун `plot(x, y, 'r', 'MarkerSize', 25)` ифодадан фойдаланамиз. Нукта кизил рангдаги доира шаклида (`r` — *red*(қизил), `.` — доира) кўрсатилади. Нуктанинг ўлчами `MarkerSize` хос-сасининг сонли қиймати кўринишида берилган (4.7-расм).



4.7-расм. Функциянинг минимумига мос келувчи нукта.

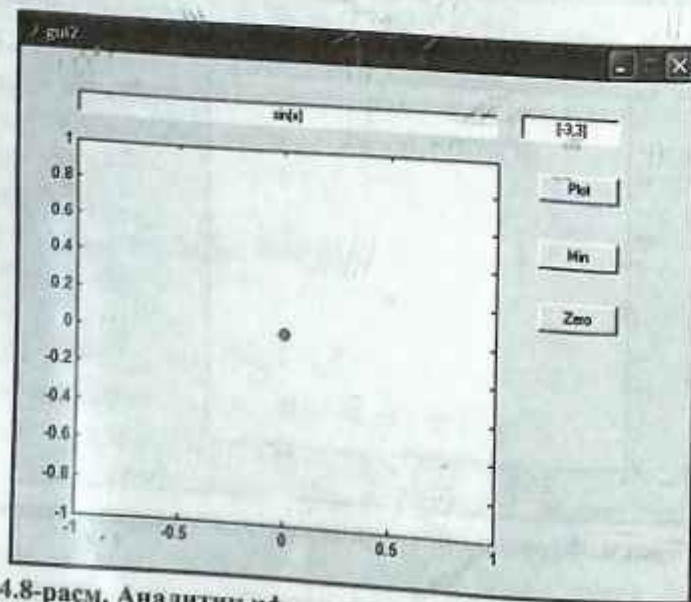
Тадқиқ қилинаётган аналитик ифоданинг ноль билан кесишиш нуктасини (илдизларини) ҳисоблаш ва уни графикда кўрсатиш учун

босиладиган btnzero тугмаси учун дастурни m-файлдаги btnZero_Callback() функциясига қўшимча равишда киритамиз:

```
% Executes on button press in btnZero
function btnZero_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to btnZero (see GCBO)
% eventdata reserved — to be defined in a future version of
MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
interval=str2num(get(handles.edInterval,'String'));
x1=interval(1);
x2=interval(2);
f=inline(get(handles.edEq,'String'));
x=fzero(f, (x1+x2)/2);
y=f(x);
plot(x,y,'g','MarkerSize',25)
```

Дастурда аналитик функциянинг илдизларини берилган бошлангич нуктадан бошлаб излаш учун бириктирилган fzero() функциядан фойдаланилган. Унинг параметрлари сифатида берилган аналитик ифода асосида ҳосил қилинган f функция ва берилган интервалнинг ўртаси кўрсатилган.

Киритилган ўзгаришлардан кейин дастурнинг ишлашнинг текшириб кўрамиз (4.8-расм).



4.8-расм. Аналитик ифода илдизига мос келувчи нукта.

4.5.3. Учинчи боскич

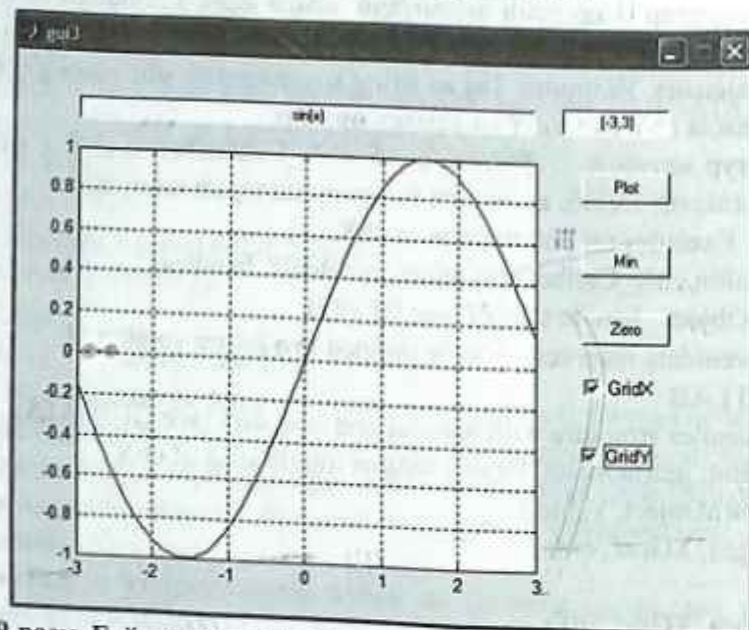
Курилган графикларнинг ранги, қалинлиги ҳамда чизилиш услубини ўзгартирадиган ва координаталар сеткасини чиқарувчи ҳамда олиб ташловчи бошқарув элементларини график интерфейсга киритамиз. Координаталар сеткасини чиқарувчи ҳамда олиб ташловчи бошқарув элементлари сифатида иккита checkBox (яъни байроқча) элементидан фойдаланамиз. Уларнинг Tag ва string хоссаларини мос равишда cbx ва Gridx ҳамда cby ва Gridy га алмаштирамиз.

Дастур матнига, m-файлни очиб cbX_Callback() ва cbY_Callback() функцияларни топиб, қуйидаги ўзгартиришларни киритамиз:

```
% Executes on button press in cbX.
function cbX_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to cbX (see GCBO)
% eventdata reserved — to be defined in a future version of
MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of cbX
if get(hObject,'Value')
set(gca,'XGrid','on')
else
set(gca,'XGrid','off')
end
% Executes on button press in cbY.
function cbY_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to cbY (see GCBO)
% eventdata reserved — to be defined in a future version of
MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of cbY
if get(hObject,'Value')
set(gca,'YGrid','on')
else
set(gca,'YGrid','off')
end
```

Дастурда if...else тузилмасидан фойдаланилган, get(hObject,'Value') командаси ёрдамида жорий элемент value хоссасининг қиймати олинди. У байроқча белгиланмаган бўлса 0 ёки белгиланган бўлса 1 бўлади.

Агар жорий элемент value хоссасининг қиймати 1 бўлса set (gca, 'XGrid', 'on') (координаталар сеткасини чиқариш) командаси, 0 бўлса set (gca, 'XGrid', off) (координаталар сеткасини беркитиш) командаси бажарилади (on – уланган, off – узилган). Байроқча checkBox элементининг ишлаш натижалари 4.9-расмда кўрсатилган.



4.9-расм. Байроқча checkBox элементининг ишлаш натижалари.

V БОБ. MATLAB 6.5 ТИЗИМИНИНГ OPTIMIZATION TOOLBOX ПАКЕТИ

5.1. Пакетнинг вазифаси

Optimization Toolbox пакети оптималлаш масалалари ва чизикли бўлмаган тенгламалар системаларини ечиш учун мўлжалланган бўлиб, унда қуйидаги усуллар мавжуд:

- ночизикли функцияларни шартсиз оптималлаш;
- энг кичик квадратлар усули;
- чизикли бўлмаган тенгламаларни ечиш;
- чизикли дастурлаш;
- квадратик дастурлаш;
- ночизикли функцияларни шартли минималлаш;
- минимакс усуллари;
- кўп критерияли оптималлаш.

5.2. Optimization Toolbox пакетининг функциялари

Пакетнинг функциялари беш гуруҳга бўлинади: минималлаш, тенгламаларни ечиш, энг кичик квадратлар (эгри чизикларни танлаш), утиллар ва намоёниш қилиш функциялари.

5.2.1. Минималлаш функциялари

fgoalattain функцияси

fgoalattain функцияси векторли оптималлаш масалаларини “мақсадга эришиш” усули билан ечиш учун хизмат қилади. У қуйидаги кўринишларда ёзилади:

- $x = \text{fgoalattain}(\text{fun}, x_0, \text{goal}, \text{weight})$ – кўп ўлчамли оптималлаш масаласининг ечимини қайтаради. Унинг аргументлари қуйидаги-

лар – мақсад функцияларининг вектори fun, бошлангич яқинлашиш x0, мақсад вектори goal ва салмоқлар вектори-weight;

- $x = \text{fgoalattain}(\text{fun}, x_0, \text{goal}, \text{weight}, A, b)$ – юқоридаги функция билан бир хил, фақат қўшимча $Ax \leq b$ чизикли тенгсизликлар шаклидаги чеклашлар мавжуд бўлганда;

- $x = \text{fgoalattain}(\text{fun}, x_0, \text{goal}, \text{weight}, A, b, A_{\text{eq}}, b_{\text{eq}})$ – юқоридаги функция билан бир хил, фақат қўшимча $A_{\text{eq}}x = b_{\text{eq}}$ тенглик шаклидаги чеклашлар мавжуд бўлганда; агар улар бўлмаса $A = []$ ва $b = []$ кўринишида ёзилади;

- $x = \text{fgoalattain}(\text{fun}, x_0, \text{goal}, \text{weight}, A, b, A_{\text{eq}}, b_{\text{eq}}, lb, ub)$ – юқоридаги функция билан бир хил, фақат қўшимча $lb \leq x \leq ub$ тенгсизлик шаклидаги чегаравий чеклашлар мавжуд бўлганда;

- $x = \text{fgoalattain}(\text{fun}, x_0, \text{goal}, \text{weight}, A, b, A_{\text{eq}}, b_{\text{eq}}, lb, ub, \text{nonlcon})$ – юқоридаги функция билан бир хил, фақат қўшимча $c(x) \leq 0$, тенгсизлик ёки $\text{ceq}(x) = 0$ тенглик шаклидаги чеклашлар мавжуд бўлганда. Чеклашлар одатда m-file кўринишида бўлган ва c ҳамда ceq векторларни қайтарувчи nonlcon функциясида берилади. Агар улар бўлмаса $lb = []$ ва $ub = []$ кўринишида берилади.

- $x = \text{fgoalattain}(\text{fun}, x_0, \text{goal}, \text{weight}, A, b, A_{\text{eq}}, b_{\text{eq}}, \dots, lb, ub, \text{nonlcon}, \text{options})$ – юқоридаги функция билан бир хил, фақат қўшимча равишда опциялар берилганда;

- $x = \text{fgoalattain}(\text{fun}, x_0, \text{goal}, \text{weight}, A, b, A_{\text{eq}}, b_{\text{eq}}, \dots, lb, ub, \text{nonlcon}, \text{options}, P1, P2, \dots)$ – юқоридаги функция билан бир хил, фақат қўшимча равишда функция - аргументларга тегишли бўлган P1, P2, ... параметрлар берилганда;

- $[x, fval] = \text{fgoalattain}(\dots)$ – вектор аргументнинг оптимал қийматидан ташқари мақсад функциясининг минимум нуктадаги қийматини (fval) ҳам қайтаради;

- $[x, fval, \text{attainfactor}] = \text{fgoalattain}(\dots)$ – юқоридаги функция билан бир хил, фақат қўшимча равишда мақсадга эришиш коэффициентини (attainfactor) қайтаради;

- $[x, fval, \text{attainfactor}, \text{exitflag}] = \text{fgoalattain}(\dots)$ – юқоридаги функция билан бир хил, фақат қўшимча равишда ҳисоблашларнинг тугалланиш характери тўғрисидаги ахборотни exitflag қайтаради;

- $[x, fval, \text{attainfactor}, \text{exitflag}, \text{output}] = \text{fgoalattain}(\dots)$ – юқоридаги функция билан бир хил, фақат қўшимча равишда оптималлаш натижалари тўғрисидаги маълумотни output қайтаради;

- $[x, fval, \text{attainfactor}, \text{exitflag}, \text{output}, \text{lambda}] = \text{fgoalattain}(\dots)$ – юқоридаги функция билан бир хил, фақат қўшимча равишда Лагранж кўпайтирувчисини lambda қайтаради.

Функциянинг аргументлари:

- fun – вектор аргументнинг вектор функцияси. У inline функция ёрдамида, масалан:

```
>> fun = inline('sin(x.*x)');
```

ёки m-файл кўринишида, масалан:

```
function F = myfun(x)
```

```
F = ...
```

берилиши мумкин.

Агар options = optimset('GradObj','on') функцияси билан градиентни ҳисоблаш берилган бўлса m-файл функциянинг F қийматидан ташқари градиентларнинг қийматлари G ҳам қайтарилиши керак:

```
function[F,G] = myfun(x)
```

```
F = ... % вектор функцияни ҳисоблаш
```

```
G = ... % градиентни ҳисоблаш
```

5.2.2. fminbnd функцияси

fminbnd – чекланишлари $x_1 < x < x_2$ кўринишида бўлган скаляр нозикли минималлаш функциясидир. Алгоритми олтин кесим усули квадратик (параболик) интерполяцияга асосланган. Функция қуйидагича ёзилади:

```
x = fminbnd(fun,x1,x2)
```

```
x = fminbnd(fun,x1,x2,options)
```

```
x = fminbnd(fun,x1,x2,options,P1,P2,...)
```

```
[x,fval] = fminbnd(...)
```

```
[x,fval,exitflag] = fminbnd(...)
```

```
[x,fval,exitflag,output] = fminbnd(...)
```

Аргументлари ва қайтарилувчи катталиклари fgoalattain функциясиники билан деярли бир хил, фақат опцияларининг сони камроқ.

Бир неча мисолларни кўрайлик.

1-мисол. $\sin(x)$ функциянинг интервалдаги минимум нукталари қуйидагича аниқланади:

```
>> x = fminbnd('sin',0,2*pi)
```

```
x = 4.7124
```

Функциянинг минимум нуктадаги қиймати

```
>> y = sin(x)
```

```
y = -1.0000
```

2-мисол. $f(x) = (x-3)^2 - 1$ функцияни (0, 5) интервалда минималлаш учун аввал уни m-файл кўринишида тақдим қиламиз:

```
function f = myfun(x)
```

```
f = (x-3).^2-1;
```

m-файлни сақлаймиз (унинг номиинг функциянинг ёзилган номига мослаб дастурнинг ўзи беради, масалан юкоридаги функцияга myfun.m номи берилади). m-файл сақлангандан кейин унга мурожаат қилиш мумкин.

Масалани ечиш учун fminbnd функциядан фойдаланамиз, ишчи ойнада куйидагиларни терамиз:

```
>> x = fminbnd('myfun',0,5)
```

```
x = 3
```

```
ёки
```

```
>> x = fminbnd(@myfun,0,5)
```

```
x = 3
```

Функциянинг минимум нуктадаги қиймати

```
>> myfun(3)
```

```
ans = -1
```

Масалани бошқача соддарок йўл билан ҳам ечишимиз мумкин

```
>> x = fminbnd('(x-3).^2-1',0,5)
```

```
x = 3
```

```
>> f = (x-3).^2-1
```

```
f = -1
```

ёки inline функциядан фойдаланиб ечиш:

```
>> f = inline('(x-3).^2-1');
```

```
x = fminbnd(f,2,5)
```

```
f = f(x)
```

```
x = 3
```

```
f = -1
```

5.2.3. fmincon функцияси

fmincon – кўплаб ўзгарувчилар скаляр функциясининг, куйида келтирилган кўринишдаги чеклашлар мавжуд бўлганда, минимумини излаш функцияси:

$$c(x) < 0, \quad c_{eq}(x) = 0,$$

$$A x < b, \quad A_{eq} x = b_{eq},$$

$$l_b < x < u_b$$

(ночизикли дастурлаш масаласи). Функция куйидаги кўринишда ёзилади:

```
x = fmincon(fun,x0,A,b)
```

```
x = fmincon(fun,x0,A,b,Aeq,beq)
```

```
x = fmincon(fun,x0,A,b,Aeq,beq,lb,ub)
```

```
x = fmincon(fun,x0,A,b,Aeq,beq,lb,ub,nonlcon)
```

```
x = fmincon(fun,x0,A,b,Aeq,beq,lb,ub,nonlcon,options)
```

```
x = fmincon(fun,x0,A,b,Aeq,beq,lb,ub,nonlcon,options,P1,P2, ...)
```

```
[x,fval] = fmincon(...)
```

```
[x,fval,exitflag] = fmincon(...)
```

```
[x,fval,exitflag,output] = fmincon(...)
```

```
[x,fval,exitflag,output,lambd] = fmincon(...)
```

```
[x,fval,exitflag,output,lambd,grad] = fmincon(...)
```

```
[x,fval,exitflag,output,lambd,grad,hessian] = fmincon(...)
```

Аргументлари ва қайтарилувчи катталиклари fgoalattain функциясиники билан деярли бир хил, фақат куйида келтирилган қўшимча имкониятлар мавжуд:

1) функциянинг минимум нуктадаги градиентини қайтарувчи grad катталик мавжуд;

2) H гессианни ҳисоблаш имконияти мавжуд. Бунинг учун options = optimset('Hessian','on') функция киритилган у куйидаги m-файлда акс эттирилган бўлиши керак:

```
function [f,g,H] = myfun(x)
```

```
f = ... % Мақсад функцияларини ҳисоблаш
```

```
g = ... % Градиентни ҳисоблаш
```

```
H = ... % Гессианни ҳисоблаш
```

Мисол. $f(x) = -x_1 x_2 x_3$ функциянинг минимумини $x = [10; 10; 10]$ бошланғич қиймат ва $0 \leq x_1 + 2x_2 + 2x_3 \leq 72$ чеклаш мавжудлигида ҳисобланг.

Ечиш. Мақсад функцияни аниқловчи m-файлни яратамиз:

```
function f = myfun1(x)
```

```
f = -x(1)*x(2)*x(3);
```

Кейин чеклашларни куйидаги тенгсизликлар шаклида ёзамиз:

$$-x_1 - 2x_2 - 2x_3 \leq 0,$$

$$x_1 + 2x_2 + 2x_3 \leq 72,$$

ёки матрицавий шаклда:

$$A x \leq b,$$

бу ерда

$$A = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -2 \\ 1 & 2 & 2 \end{bmatrix}, \quad b = \begin{bmatrix} 0 \\ 72 \end{bmatrix}$$

Командалар ойнасида куйидагиларни бажариб ечимни оламиз:

```
>> A = [-1 -2 -2; 1 2 2];
```

```
b = [0; 72];
```

```

x0 = [10; 10; 10]; % Бошланғич қийматлар
>> [x,fval] = fmincon('myfun1',x0,A,b)
x =
    24.0000
    12.0000
    12.0000
fval =
-3.4560e+003

```

5.2.4. fminimax функцияси

fminimax – минимакс масалаларини ечиш учун функция:
 $\min_x \max_i \{F_i(x)\}$ қуйдаги чекланишлар мавжудлигида

$c(x) \leq 0$, $ceq(x) = 0$,
 $Ax \leq b$, $Aeqx = beq$,
 $lb \leq x \leq ub$.

бу ерда x , b , beq , lb ва ub – векторлар, A ва Aeq – матрицалар, $c(x)$, $ceq(x)$ – функциялар.

Функциянинг ёзилиши:

$x = \text{fminimax}(\text{fun}, x0)$ – берилган fun функциялар максимал қийматларини минималлаш бошланғич $x0$ нуктадан бошланади ва аниқланган якуний минималловчи x қиймат қайтарилади.

Ушбу функциянинг бошқа кўринишлари ва аргументлари fgoalattain функциясиникига ўхшаш:

```

x = fminimax(fun,x0)
x = fminimax(fun,x0,A,b)
x = fminimax(fun,x0,A,b,Aeq,beq)
x = fminimax(fun,x0,A,b,Aeq,beq,lb,ub)
x = fminimax(fun,x0,A,b,Aeq,beq,lb,ub,nonlcon)
x = fminimax(fun,x0,A,b,Aeq,beq,lb,ub,nonlcon,options)
[x,fval] = fminimax(...)
[x,fval,maxfval] = fminimax(...)
[x,fval,maxfval,exitflag] = fminimax(...)
[x,fval,maxfval,exitflag,output] = fminimax(...)
[x,fval,maxfval,exitflag,output,lambda] = fminimax(...)

```

Мисол. Қуйдаги бешта функциядан иборат тўплам учун минимакс масаласини ечиш зарур бўлсин:

$$\begin{aligned}
 f_1(x) &= 2x_1^2 + x_2^2 - 48x_1 - 48x_2 + 304, \\
 f_2(x) &= -x_1^2 - 3x_2^2, \\
 f_3(x) &= x_1 + 3x_2 - 18, \\
 f_4(x) &= -x_1 - x_2, \\
 f_5(x) &= x_1 + x_2 - 8.
 \end{aligned}$$

Ечимни олиш учун аввал берилган функцияларни m-файл кўринишида тақдим қиламиз:

```

function f = minmax(x)
f(1) = 2*x(1)^2+x(2)^2-48*x(1)-40*x(2)+304;
f(2) = -x(1)^2-3*x(2)^2;
f(3) = x(1)+3*x(2)-18;
f(4) = -x(1)-x(2);
f(5) = x(1)+x(2)-8;

```

Кейин fminimax функциядан фойдаланамиз:

```

>> x0 = [0.1; 0.1]; % Бошланғич қийматлар
[x,fval] = fminimax('minmax',x0)
Optimization terminated successfully (Оптималлаш мувафакятли
яқунланди).

```

```

x =
    4.0000
    4.0000
fval = 0.0000 -64.0000 -2.0000 -8.0000 -0.0000
Ечим x = [4, 4].

```

5.2.5. fminsearch функцияси

fminsearch функцияси бир ёки бир неча аргументли функциянинг минимумини чекловларсиз аниқлаш имконини беради, яъни шартсиз оптималлаш масаласи симплекс усулдан фойдаланиб ечилади.

Ушбу функциянинг ёзилиш шакли, аргументлари ва қайтарилган натижалари юқорида кўрилган fminimax функциясиникига ўхшаш:

```

x = fminsearch(fun,x0)
x = fminsearch(fun,x0,options)
x = fminsearch(fun,x0,options,P1,P2,...)
[x,fval] = fminsearch(...)
[x,fval,exitflag] = fminsearch(...)
[x,fval,exitflag,output] = fminsearch(...)

```

Мисол. Бир аргументли $f(x) = \sin(x) + 3$ функциянинг минимумини топиш масаласини кўрайлик:

```
[x,fval,exitflag,output] = fseminf(...)
```

```
[x,fval,exitflag,output,lambda] = fseminf(...)
```

Ушбу функциянинг аргументлари ва қайтариловчи катталиклари юкорида кўриб чиқилган функцияларникига ўхшаш. Унга фақат масаланинг ўзига хос хусусиятларини акс эттирувчи аргументлар қўшилган:

- $ntheta - K(x, w) \leq 0$ кўринишдаги ярим чексиз чекловлар сони, ундаги w ўзгарувчи – бериладиган векторлар;
- `fsemincon` – m -файл кўринишида шакллантирилган, берилган x бўйича чеклашлар векторининг қийматларини қайтарувчи функция.

Мисол. $f(x) = (x_1 - 0.5)^2 + (x_2 - 0.5)^2 + (x_3 - 0.5)^2$ функцияни қуйида келтирилган чекловлар мавжудлигида минималлаш масаласини кўрайлик:

$$K_1(x, w_1) = \sin(w_1 x_1) \cos(w_1 x_2) - \frac{1}{1000}(w_1 x_3) - x_3 - 1 \leq 0,$$

$$K_2(x, w_2) = \sin(w_2 x_2) \cos(w_2 x_1) - \frac{1}{1000}(w_2 - 50) - \sin(w_2 x_3) - x_3 - 1 \leq 0,$$

бу ерда w_1 ва w_2 $[1, 100]$ кесмага таллуқли.

Масалани счиш учун иккита m -файл ҳосил қиламиз, биринчиси (`myfun` номи билан) – мақсад функциясини ҳисоблаш учун, иккинчиси (`mycon` номи билан) – чеклашларнинг чап томонларини ҳисоблаш учун ишлатилади:

```
function f = myfun(x,s)
```

```
% Мақсад функцияси
```

```
f = sum((x-0.2).^2);
```

```
function [c,ceq,K1,K2,s] = mycon(X,s)
```

```
% Дискретлашнинг бошланғич интервали
```

```
if isnan(s(1,1)),
```

```
    s = [0.2 0; 0.2 0];
```

```
end
```

```
% Дискрет қийматлар
```

```
w1 = 1:s(1,1):100;
```

```
w2 = 1:s(2,1):100;
```

```
% Ярм чексиз чекловлар
```

```
K1 = sin(w1*X(1)).*cos(w1*X(2))-1/1000*(w1-50).^2-...  
      sin(w1*X(3))-X(3)-1;
```

```
K2 = sin(w2*X(2)).*cos(w2*X(1))-1/1000*(w2-50).^2-...  
      sin(w2*X(3))-X(3)-1;
```

```
% Бошқа чекловлар йўқ
```

```
c = []; ceq=[];
```

```
plot(w1,K1,'-',w2,K2,'-'),title('Semiinfinite conditions')  
drawnow
```

Масаланинг счимини қуйидагича аниқлаймиз:

```
>> % Бошланғич қийматлар
```

```
>> x0 = [0.5; 0.2; 0.3];
```

```
>> % Ечимни топиш
```

```
>> [x,fval] = fseminf(@myfun,x0,2,@mycon)
```

```
x =
```

```
    0.6535
```

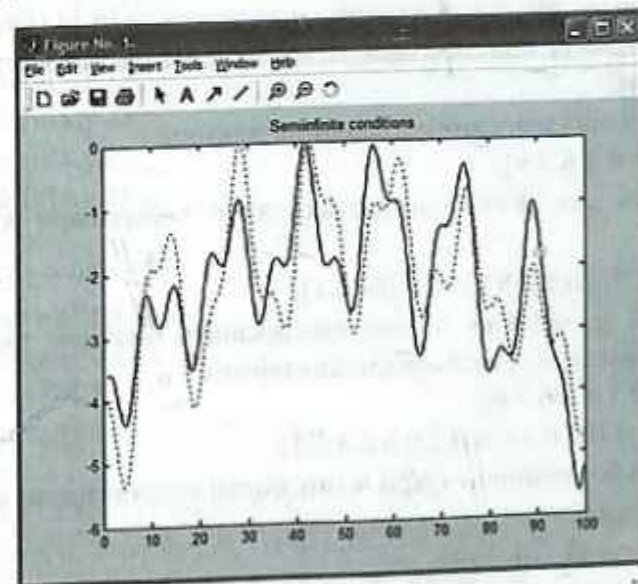
```
    0.2821
```

```
    0.4013
```

```
fval =
```

```
    0.2530
```

`mycon` m -файл қайтарган ярим чексиз чекловлар ўнг томонлари учун функцияларнинг график кўринишлари 5.1-расмда келтирилган. Расмдан кўриниб турганидек чекловлар қаноатлантирилган.



5.1-расм. `mycon` m -файл қайтарган ярим чексиз чекловлар ўнг томонлари учун функцияларнинг график кўринишлари.

VI БОБ. МАЪЛУМОТЛАРНИНГ АППРОКСИМАЦИЯСИ ВА ИНТЕРПОЛЯЦИЯСИ

6.1. Полиномиал аппроксимация

Маълумотларни полиномиал аппроксимация қилиш учун `polyfit(x,y,n)` процедурасидан фойдаланилади. Бу ерда x - аргументлар вектори, y - натижалар вектори ва n - аппроксимацияловчи полиномнинг тартиби. Аппроксимациялаш натижасида узунлиги $(n+1)$ бўлган ва аппроксимацияловчи полиномнинг коэффициентларидан иборат вектор ҳосил бўлади.

Айтайлик аргумент қийматларининг вектори

$x = [1 \ 2 \ 3 \ 4 \ 5 \ 6 \ 7 \ 8];$

ва уларга мос ўлчаган катталиқнинг қийматлари қуйидагича бўлсин:

$y = [-1.1 \ 0.2 \ 0.5 \ 0.8 \ 0.7 \ 0.6 \ 0.4 \ 0.1];$

Берилган функцияни аппроксимацияловчи полином тартибининг ҳар хил қийматларида аппроксимациялаймиз:

» $x = [1 \ 2 \ 3 \ 4 \ 5 \ 6 \ 7 \ 8];$

» $y = [-1.1 \ 0.2 \ 0.5 \ 0.8 \ 0.7 \ 0.6 \ 0.4 \ 0.1];$

Берилган боғланишни тўғри чизик билан аппроксимациялаш

» `polyfit(x,y,1)`

`ans = 0.1143 -0.2393`

яъни

$y(x) = 0.1143x - 0.2393,$

Квадратик парабола билан аппроксимациялаш

» `polyfit(x,y,2)`

`ans = -0.1024 1.0357 -1.7750`

яъни

$y(x) = -0.1024x^2 + 1.0357x - 1.775,$

Кубик парабола билан аппроксимациялаш

» `polyfit(x,y,3)`

`ans = 0.0177 -0.3410 1.9461 -2.6500`

яъни

$y(x) = 0.0177x^3 + 0.341x^2 + 1.9461x - 2.65,$

Тўртинчи даражали парабола билан аппроксимациялаш

» `polyfit(x,y,4)`

`ans = -0.0044 0.0961 -0.8146 3.0326 -3.3893,`

яъни

$y(x) = -0.0044x^4 + 0.0961x^3 - 0.8146x^2 + 3.0326x - 3.3893.$

Битта график ойнада берилган дискрет функциянинг графиги ва ҳамма полиномлар билан аппроксимациялаш натижаларининг графикларини кураимиз:

$x = [1 \ 2 \ 3 \ 4 \ 5 \ 6 \ 7 \ 8];$

$y = [-1.1 \ 0.2 \ 0.5 \ 0.8 \ 0.7 \ 0.6 \ 0.4 \ 0.1];$

`P1=polyfit(x,y,1);`

`P2=polyfit(x,y,2);`

`P3=polyfit(x,y,3);`

`P4=polyfit(x,y,4);`

`stem(x,y);`

`x1 = 0.5 : 0.05 : 8.5;`

`y1=polyval(P1,x1);`

`y2=polyval(P2,x1);`

`y3=polyval(P3,x1);`

`y4=polyval(P4,x1);`

`hold on`

`plot(x1,y1,x1,y2,x1,y3,x1,y4);`

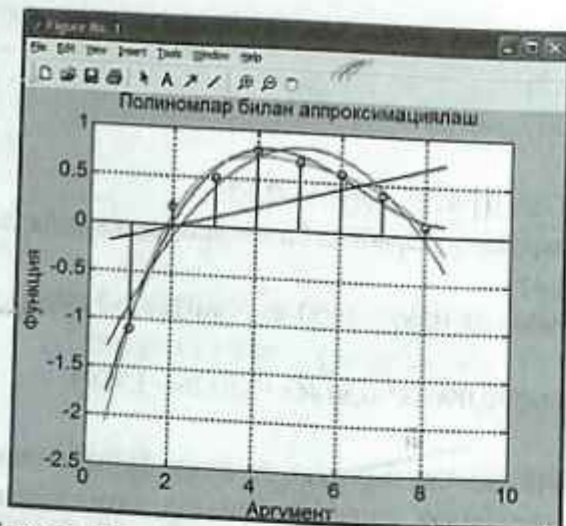
`grid, set(gca, 'FontName', 'Arial Cyr', 'FontSize', 16);`

`title('Полиномлар билан аппроксимациялаш');`

`xlabel('Аргумент');`

`ylabel('Функция')`

Натижалар 6.1-расмда кўрсатилган.



6.1-расм. Полиномлар билан аппроксимациялаш.

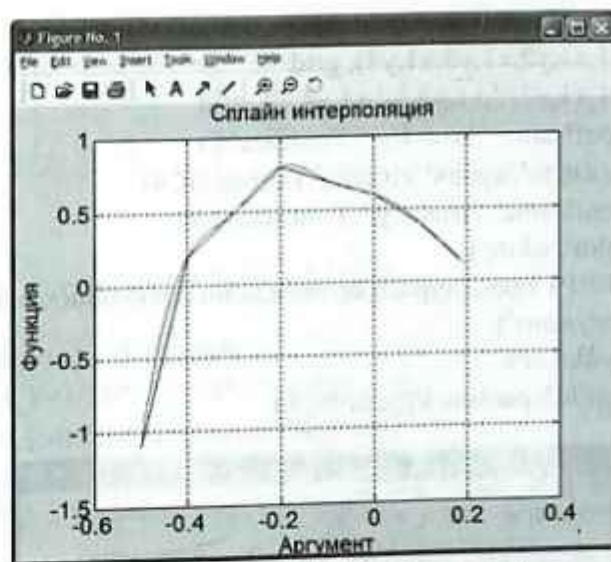
6.2. Сплайн интерполяция

`spline(X,Y,Xi)` функция кубик сплайнлар билан интерполяцияни амалга оширади. Унга $Y_i = \text{spline}(X,Y,X_i)$ кўринишида мурожаат қилинганда аргументи X вектор бўлган Y векторнинг қийматларини кубик сплайнлар билан интерполяция қилади ва Y_i вектор кўринишидаги интерполяцияловчи функциянинг X_i вектор билан берилган аргументга мос келувчи қийматларини беради. Агар X вектор кўрсатилмаган бўлса, сукут бўйича унинг узунлиги Y векторнинг узунлигига ва элементларининг қийматлари уларнинг тартиб рақамларига тенг деб олинади.

Мисол тарикасида куйидаги векторнинг интерполяциясини кўрайлик

```
x = -0.5:0.1:0.2;
y = [-1.1 0.2 0.5 0.8 0.7 0.6 0.4 0.1];
x1 = -0.5:0.01:0.2;
y2 = spline(x,y,x1);
plot(x,y,x1,y2), grid
set(gca,'FontName','Arial Cyr','FontSize',16),
title('Сплайн интерполяция');
xlabel('Аргумент');
ylabel('Функция')
```

Натижа 6.2-расмда келтирилган.



6.2-расм. Сплайн интерполяция

6.3. Маълумотларни интерполяциялаш учун `interp1` процедурасидан фойдаланиш.

Маълумотларни интерполяциялаш учун `interp1` процедурасидан фойдаланилади. Умумий ҳолда унга куйидагича мурожаат қилинади:

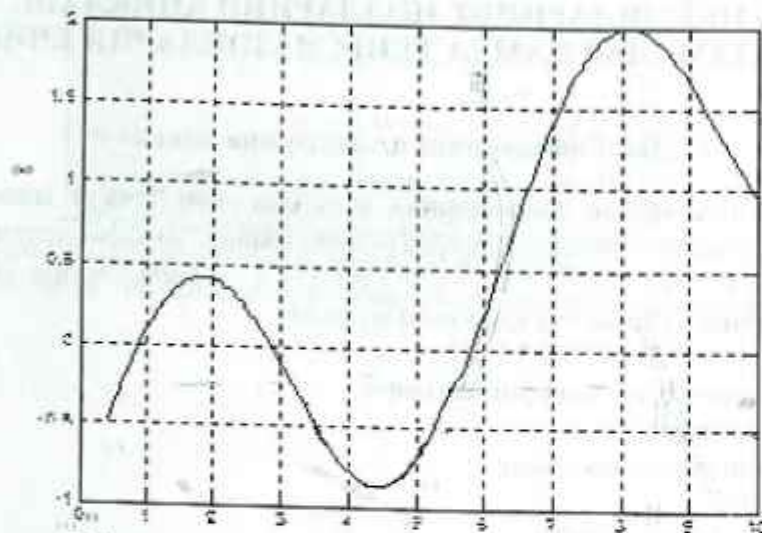
$Y_i = \text{interp1}(X,Y,X_i,'<\text{метод}>')$,
ва унинг тўртинчи кириш аргументи сифатида интерполяция методи кўрсатилади:

- 'nearest' - поғонали;
- 'linear' - чизиқли;
- 'cubic' - кубик;
- 'spline' - кубик сплайнлар.

Агар метод кўрсатилмаса сукут бўйича чизиқли интерполяция амалга оширилади. Масалан, битта вектор учун турли кўринишдаги интерполяцияларни амалга оширишни кўрайлик:

```
x = -0.5:0.1:0.2;
y = [-1.1 0.2 0.5 0.8 0.7 0.6 0.4 0.1];
x1 = -0.5:0.01:0.2;
y1 = interp1(x,y,x1);
y4 = interp1(x,y,x1,'nearest');
y2 = interp1(x,y,x1,'cubic');
```

1 – функцияни ҳосил қилиш:
`function f=fun1(x)`
`f=0.25*x+sin(x)-1;`
 2 – уни fun1.m ном билан сақлаш
 3 – командалар ойнасида ишлаш:
`>> fplot(@fun1,[0,10]);` % fun1 функциянинг графигини [0; 10]
 кесмада куриш (7.1-расм).
`>> grid on;`



7.1-расм. $y = 0.25x + \sin x - 1$ функциянинг графиги.

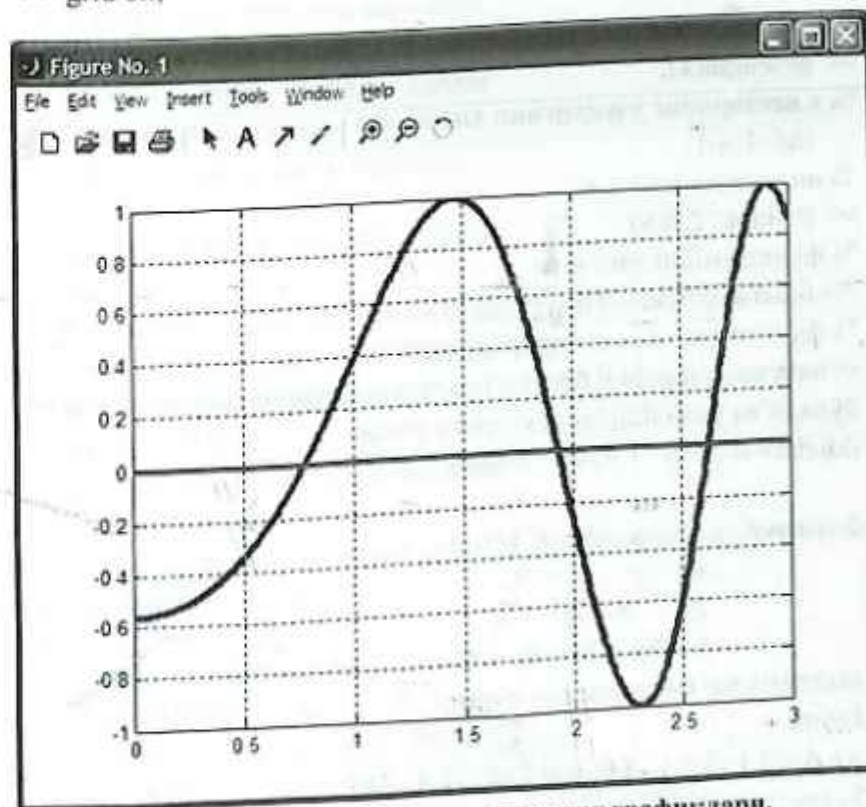
`>> x1=fzero(@fun1,[0 1])`
 % функциянинг [0; 1] кесмадаги....
 нолини ҳисоблаш
`x1 =`
 0.8905
`>> x2=fzero(@fun1,[2 3])`
 % функциянинг [2; 3] кесмадаги....
 нолини ҳисоблаш
`x2 =`
 2.8500
`>> x3=fzero(@fun1,5,0.001)`
 % функциянинг [0; 1] кесмадаги....
 нолини ҳисоблаш
`x3 =`
 5.8128

7.3. Тенгламаларни ечиш

1-мисол. $\sin(x^2 - 0.6) = 0$ тенгламани [0; 3] кесмада ечинг.

1. График усул:

`>> x=0:0.01:3;`
 % аргументнинг қиймати
`>> f=sin(x.^2-0.6);`
 % функциянинг қиймати
`>> plot(x,[f;0*f]);`
 % $y=f$ и $y=0$ функцияларнинг графиклари (7.2-расм).
`>> grid on;`



7.2-расм. $y=f$ ва $y=0$ функцияларнинг графиклари.

`>> x1=ginput`
 % нукта координаталарини экранга интерактив...
 чиқариш (сичқончанинг кўрсаткичи керакли нуктага олиб келина-
 ди...
 ва у босиб турилган ҳолда «Enter» тугмаси босилади)

```
x1 =
    0.7746   -0.0012
% иккинчи сон у10 га мос келади
>> g2=ginput
x2 =
```

```
    1.9343    0.0023
>> x3= fzero(f,[2 3])
x3 =
    2.6326
```

2. Аналитик усул:

```
>> x=0:.01:3;
```

```
% аргументнинг кийматлари
```

```
>> n=length(x);
```

```
% x векторнинг узунлигини ҳисоблаш
```

```
>> ind=1:n-1;
```

```
% индекслар вектори
```

```
>> f=sin(x.^2-0.6);
```

```
% функциянинг киймати
```

```
>> ildizlar=x(f(ind).*f(ind+1))<=0)
```

```
% функция қўшни кийматларининг...
```

```
кўпайтмаси манфий бўлган нуқталар тенгламанинг илдизлари...
```

```
бўлади ва улар ildizlar векторига ўтади.
```

```
ildizlar= 0.7746  1.9300  2.6200
```

2-мисол. $2x + y - 5z + t = 8,$

$x - 3y - 6t = 9,$

$2y - z + 2t = -5,$

$x + 4y - 7z + 6t = 0$

тенгламалар системасини ечинг.

Ечиш.

```
>> A=[2 1 -5 1;1 -3 0 -6;0 2 -1 2;1 4 -7 6];
```

```
% системанинг матрицаси
```

```
>> B=[8;9;-5;0];
```

```
% ўнг томонларнинг устун вектори
```

```
>> A1=[A,B];
```

```
% системанинг кенгайтирилган матрицаси
```

```
>> if and(rank(A)==rank(A1),rank(A)==4)
```

```
% матрица рангини текшириш
```

```
disp('система ягона ечимга эга:');
```

```
x=A\B;
```

```
% тескари слэш ёки чапдан бўлиш-чизикли системани ...
```

```
% Гаусс усули билан ечиш
```

```
x1=x';
```

```
end
```

```
x1
```

```
x1 =
```

```
    3.0000   -4.0000   -1.0000    1.0000
```

```
>> x=A^(-1)*B; x2=x'
```

```
% A\B ёзувнинг иккинчи варианты
```

```
x2 =
```

```
    3.0000   -4.0000   -1.0000    1.0000
```

```
>> x=inv(A)*B; x3=x'
```

```
% A\B ёзувнинг учинчи варианты
```

```
x3 =
```

```
    3.0000   -4.0000   -1.0000    1.0000
```

Берилган системани энг кичик квадратлар усули билан ечиш

```
>> A=[2 1 -5 1;1 -3 0 -6;0 2 -1 2;1 4 -7 6];
```

```
% системанинг матрицаси
```

```
>> B=[8;9;-5;0];
```

```
% ўнг томонларнинг устун-вектори
```

```
>> x=lsqr(A,B)
```

% чизикли системани ечиш учун % бириктирилган функция (энг кичик квадратлар усули)

```
x =
```

```
    3.0000   -4.0000   -1.0000    1.0000
```

MATLAB 2014A да:

```
>> A=[2 1 -5 1;1 -3 0 -6;0 2 -1 2;1 4 -7 6];
```

```
B=[8;9;-5;0];
```

```
x=lsqr(A,B)
```

lsqr converged at iteration 4 to a solution with relative residual 1.7e-11.

```
x =
```

```
    3.0000
```

```
   -4.0000
```

```
   -1.0000
```

```
    1.0000
```

7.4. Тенгсизликлар ва тенгсизликлар системаларини ечиш

1-мисол.

$$2 < \frac{x-2}{x+3}$$

тенгсизликни ечинг

Ечиш:

```
>> maple('solve','{(x-2)/(x+3)>2}',x)
```

ans =

$$\{-8 < x, x < -3\}$$

Тенгсизликнинг ечими

$$-8 < x < -3.$$

2-мисол.

$$\frac{x-2}{x+3} \leq 51, \sqrt{x}(\sqrt{x-1}) < 10, 69 \leq 10x^2 + 4x$$

тенгсизликлар системасини ечинг

Ечиш:

```
>> maple('solve','{(x-2)/(x+3)<=51,sqrt(x)*(sqrt(x)-1)<10,10*x^2+4*x>=69}',x)
```

ans =

$$\{-1/5 + 1/10 \cdot 694^{(1/2)} < x, x < 21/2 + 1/2 \cdot 41^{(1/2)}\}$$

```
>> vpa(ans,4)
```

ans =

$$\{2.434 < x, x < 13.70\}$$

Тенгсизликлар системасининг аниқ ечими

$$-\frac{1}{5} + \frac{1694^{(1/2)}}{10} \leq x, x < \frac{21}{2} + \frac{141^{(1/2)}}{2}$$

ва тақрибий ечими

$$2.434 \leq x < 13.70.$$

VIII БОБ. СОНЛИ ДИФФЕРЕНЦИАЛЛАШ ВА ИНТЕГРАЛЛАШ

Полиномнинг ҳосиласини ҳисоблашда polyder, функциянинг ҳосиласини ҳисоблашда diff командаларидан фойдаланиш мумкин.

1-мисол. $P(x) = x^5 + x^3 + 1$ полиномнинг ҳосиласи.

```
>> P=[1 0 1 0 0 1];
```

% берилган полином коэффициентларининг вектори

```
>> P1=polyder(P)
```

% P1 (x) ҳосила коэффициентларининг вектори

P1 =

$$5 \ 0 \ 3 \ 0 \ 0$$

яъни $P'(x) = 5x^4 + 3x^2$

2-мисол. $y = \sin(x)$ функция ҳосиласининг тақрибий қийматини ҳисоблаш.

```
>> x=0:0.05:10;
```

% аргументлар вектори

```
>> y=sin(x);
```

% функция қийматларининг вектори

```
>> d=diff(y);
```

% қўшни элементлар айирмаларининг вектори: $d=[y(2)-y(1), \dots, y(n)-y(n-1)]$

```
>> pr=d/0.05;
```

% ҳосила қийматларининг вектори

```
>> pr(5)
```

% ҳосила $x=x(5)=0.2$ даги қиймати

0.9747

```
>> cos(x(5))
```

% аниқ қиймат билан таққослаш

0.9801

Функциянинг ҳосиласини ҳисоблаш учун трапециялар ва Симпсон усулларига мос келувчи trapz ва quad командаларидан фойдаланилади.

• 3-мисол. $\int (e^{2x} - 1) dx$ интегрални трапециялар ва Симпсон усуллари билан ҳисоблаш.

1 – трапециялар усули:

```
>> h=0.001; x=0:h:1;
```

```
>> y=exp(2*x)-1;
```

```
>> int=trapz(y)*h
```

```
int =
```

```
2.1945
```

2 – Симпсон усули:

```
>> int=quad('exp(2*x)-1',0,1,1.0e-5)
```

```
int = 2.1945
```

IX БОБ. ДИФФЕРЕНЦИАЛ ТЕНГЛАМАЛАРНИ СОНЛИ ВА АНАЛИТИК УСУЛЛАР БИЛАН ЕЧИШ

9.1. Дифференциал тенгламаларни Эйлер ва Адамс усуллари билан ечиш

Дифференциал тенгламаларни сонли усуллар билан ечиш учун MATLAB дастурида кўплаб ечгичлар мавжуд. Биз Эйлер усули ва Адамс усулига мос келувчи ode113 ечгични кўриб чиқамиз.

1-мисол. Коши масаласини $y'' + 2y' + 10y = \sin x$; $y(a) = c, y'(a) = d$, $x \in [a, b]$ Эйлер усули билан ечиш ва $y(x)$ функциянинг графигини куриш.

Ечиш. Берилган тенгламани система кўринишида ёзиб оламиз:

$$y' = z,$$

$$z' = -2z - 10y + \sin x$$

Берилган $[a, b]$ ораликни ҳар бири $[x_k, x_{k+1}]$ га тенг бўлган n қисмга бўлиб $V_{k+1} = V_k + h \cdot F(x_k, y_k)$ формулани қўллаймиз, бу ерда V – номаълумлар вектори, F – ўнг қисмлар вектори, h – интервалнинг узунлиги, $V_0 = [c; d]$.

```
function y=sol1(a,b,y0,h)
```

```
% sol.m файлининг бошланиши
```

```
xt=a; yt=y0; k=1;
```

```
% xt, yt жорий ўзгарувчиларнинг бошланғич қийматлари
```

```
while xt<b;
```

```
    x(k)=xt;
```

```
    y(k)=yt(1);
```

```
    k=k+1;
```

```
    c=[yt(2);-2*yt(2)-10*yt(1)+sin(xt)];
```

```
% ўнг қисмларнинг вектори
```

```
    yt=yt+h*c;
```

```

xt=xt+h;
end
plot(x,y); grid
% ечимнинг графиги; m-файлнинг тугаши

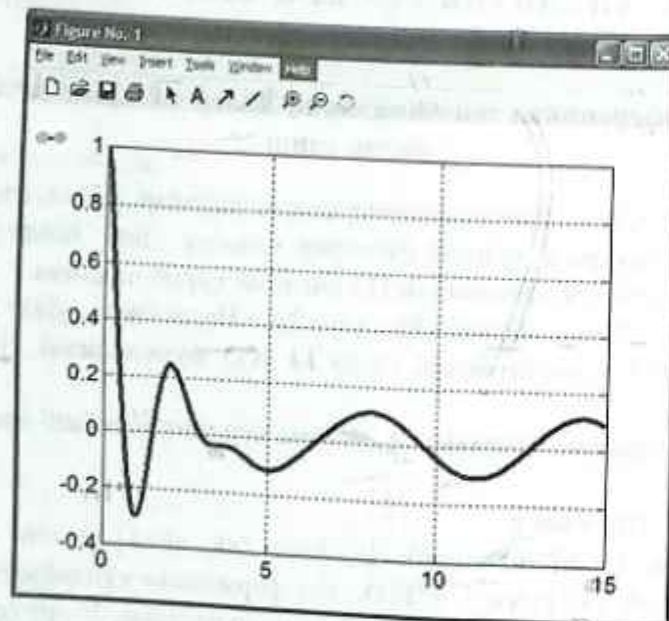
```

Командалар ойнасида бажарилади:

```
>> a=0; b=15; y0=[1;0]; h=0.01;
```

```
>> sol1(a,b,y0,h)
```

```
% функцияни чакириш
```



9.1-расм. $y'' + 2y' + 10y = \sin x$ тенглама ечимининг графиги.

2-мисол. Коши масаласини $y'' + 2y' + 10y = \sin x$; $y(a) = c$, $y'(a) = d$, $x \in [a,b]$ Адамс усули билан стандарт ode113() функциядан фойдаланиб ечинг ва $y(x)$ ҳамда $y'(x)$ функцияларнинг графикларини куриш (9.1-расм).

```
function F=misol(x,y)
```

```
% ўнг томонлар векторини бериш учун m-файл
F=[y(2); -2*y(2)-10*y(1)+sin(x)];
```

```
% m-файлнинг тугаши
```

Командалар ойнасида бажарилади:

```
>> y0=[1;0];
```

```
>> [X,Y]=ode113(@misol,[0 15],y0);
```

```
% Коши масаласининг ечими
```

```
>> plot(X,Y(:,1),'-')
```

```
% y(x) функциянинг графиги
```

```
>> hold on
```

```
% жорий ойнага кейинги графикни қўшиш режими
```

```
>> plot(X,Y(:,2),'-')
```

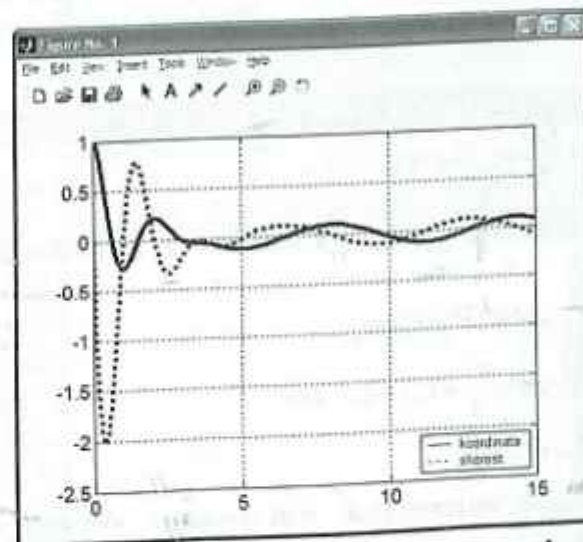
```
% y'(x) функциянинг графиги
```

```
>> grid
```

```
% координаталар тўри
```

```
>> legend('y(x)', 'dy/dx', 4)
```

```
% легенд (9.2-расм).
```



9.2-расм. $y(x)$ ҳамда $y'(x)$ функцияларнинг графиклари.

9.2. Юқори тартибли дифференциал тенгламаларни ечиш

9.2.1. Тартибини пасайтириш мумкин бўлган тенгламалар

Назарий маълумот

$$y^{(n)} = f(x) \quad (1.1)$$

қўринишдаги тенглама n марта интеграллаш йўли билан ечилади.

Изланаётган y функцияга эга бўлмаган

$$F(x, y^{(k)}, y^{(k-1)}, \dots, y^{(n)} = 0 \quad (1.2)$$

тенгламани

$$y^{(k)} = u \quad (1.3)$$

алмаштириш (бу ерда $y^{(k)}$ – энг қуйи ҳосила) йўли билан тартиби $n-k$ бўлган

$$F(x, u, u', u'', \dots, u^{(n-k)}) = 0,$$

тенгламага келтирилади.

Мустақил x ўзгаришчигини ўз ичига олмаган

$$F(y, y', y^{(k)}, y^{(k+1)}, \dots, y^{(n)}) = 0, \quad (1.5)$$

тенгламанинг тартиби

$$y' = p$$

алмаштириш ёрдамида пасайтирилиши мумкин

1-мисол

$y' = 2x$ тенгламани аналитик усул билан ечиш.

Тенгламанинг чап қисмида изланаётган функциянинг учинчи ҳосиласи, ўнг қисмида эса фақат x дан иборат функция бор, демак бу (1.1) кўринишидаги тенглама. Уни n марта интеграллаш йўли билан ечамиз.

$$y'' = \frac{dy'}{dx},$$

$$\frac{dy'}{dx} = 2x, \quad dy' = 2x dx,$$

$$y' = \int 2x dx = \frac{2x^2}{2} + C_1 = x^2 + C_1$$

$y' = \frac{dy'}{dx}$ бўлганлиги учун охир тенгламани қуйидагича ёзиш мумкин:

$$\frac{dy'}{dx} = x^2 + C_1, \quad dy' = (x^2 + C_1) dx,$$

$$y' = \int (x^2 + C_1) dx = \frac{x^3}{3} + C_1 x + C_2 \quad \text{ёки}$$

$$dy = \left(\frac{x^3}{3} + C_1 x + C_2 \right) dx.$$

Яна бир марта интеграллаб тенгламанинг умумий ечимига эга бўламиз

$$y = \frac{x^4}{12} + \frac{C_1 x^2}{2} + C_2 x + C_3.$$

MATLAB муҳитида ечиш.

1. Тенгламани аналитик кўринишда ечамиз

```
>> dsolve('D3y=t^2')
```

ans =

$$1/12*t^4 + 1/2*C1*t^2 + C2*t + C3.$$

$$y = \frac{1}{12}t^4 + \frac{1}{2}C1t^2 + C2t + C3$$

Кўриниб турганидек, натижа аналитик ечимдаги каби.

2. Тенгламани сонли усул билан ечамиз ва графигини кураамиз.

Бунинг учун Коши масаласини тузиш (яъни бошлангич шартларни) ва интеграллаш чегараларини бериш зарур.

m- файл ҳосил қиламиз ва сақлаймиз:

```
function dydt=dt1(t,y);
```

```
dydt=zeros(3,1);
```

```
dydt(1)=y(2);
```

```
dydt(2)=y(3);
```

```
dydt(3)=y(2);
```

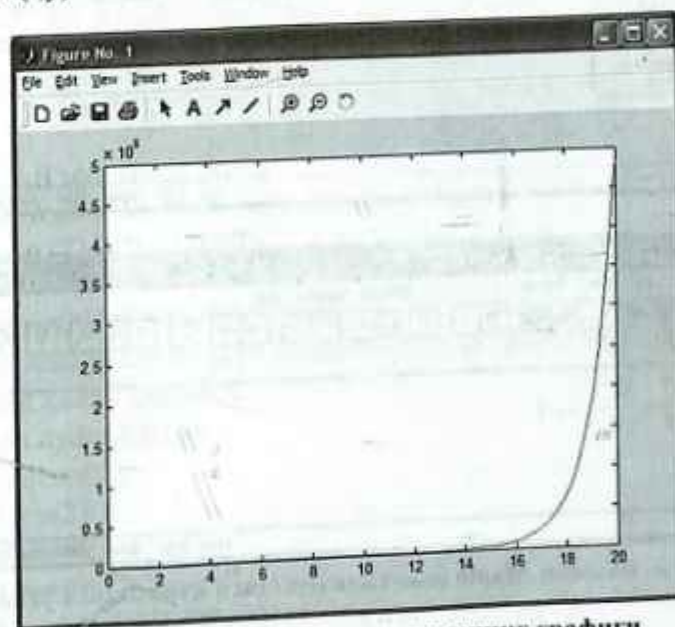
• Интеграллаш интервали ва бошлангич шартларни бериб тенгламани ечамиз.

```
>> tspan=[0 20];
```

```
>> y0=[1 1 1];
```

```
>> [t,y]=ode45('dt1',tspan,y0);
```

```
>> plot(t,y)
```



9.3-расм. $y''' = 2x$ тенглама ечимининг графиги.

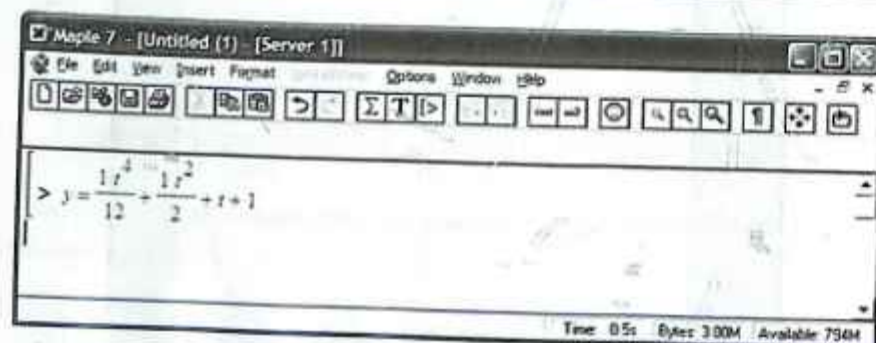
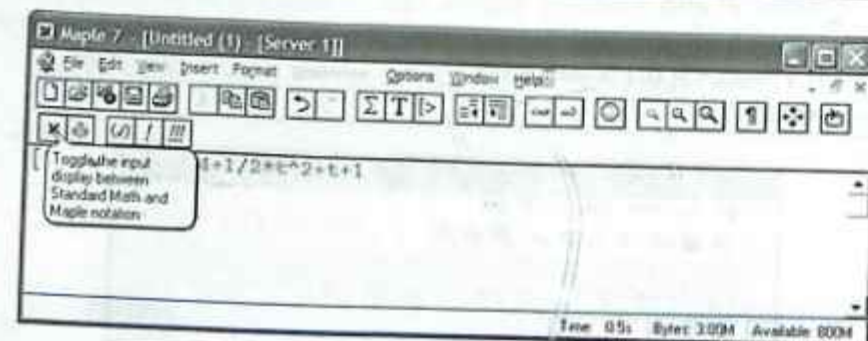
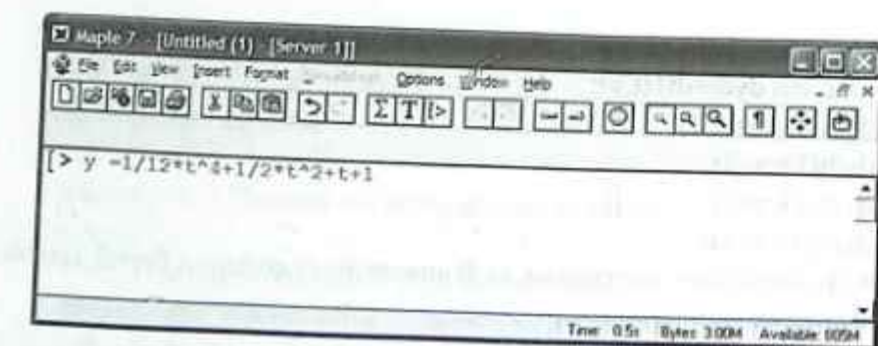
3. Тенгламани бошлангич шартларни бериб аналитик кўринишда ечамиз

```
y=dsolve('D3y=t^2','y(0)=1,Dy(0)=1,D2y(0)=1')
```

$$y = 1/12*t^4 + 1/2*t^2 + t + 1$$

Ечимни Maple пакетида одатдаги кўринишга ўтказишимиз мумкин (9.4-расм):

$$y = \frac{1}{12}t^4 + \frac{1}{2}t^2 + t + 1$$



9.4-расм. Ечимни Maple пакетда одатдаги кўринишга ўтказиш.

2-мисол

$xy^{(IV)} + y''' = 0$ тенглама ечиш.

Тенгламани аналитик кўринишда ечамиз

Тенглама (1.2) кўринишга эга бўлиб унинг учун $k=3$ ва $n=4$.

$y''' = u$ белгилаб

$y^{(IV)} = \frac{du}{dx}$ тенгламага эга бўламиз. У u га нисбатан биринчи тартибли тенгламага келтирилади.:

$$xu' + u = 0 \quad \text{ёки} \quad \frac{du}{u} + \frac{dx}{x} = 0,$$

ва ўнг томони фақат x га bog'liq бўлган

$$u = \frac{C_1}{x}$$

тенгламага эга бўламиз.

Уч марта интеграллаб ечимни ҳосил қиламиз:

$$y'' = \int \frac{C_1}{x} dx = C_1 \ln x + C_2;$$

$$y' = C_1(x \ln x - x) + C_2 x + C_3;$$

$$y = C_1\left(\frac{x^2}{2} \ln x - \frac{3}{4}x^2\right) + \frac{C_2}{2}x^2 + C_3 x + C_4;$$

ёки

$$y = C_1' x^2 \ln x + C_2' x^2 + C_3 x + C_4,$$

бу ерда

$$C_1' = \frac{C_1}{2}, \quad C_2' = \frac{C_2}{2} - \frac{3}{4}C_1.$$

MATLAB мухитида ечиш.

1. Тенгламани аналитик кўринишда ечамиз

```
>> dsolve('D4y*t+D3y=0')
```

ans =

$$C1 + C2*t + C3*t^2 + C4*t^2*\log(t)$$

2. Тенгламани сонли усул билан ечамиз ва графигини кураимиз.

m- файл ҳосил қиламиз

```
function dydt=dt2(t,y);
```

```
dydt=zeros(4,1);
```

```
dydt(1)=y(2);
```

```
dydt(2)=y(3);
```

```
dydt(3)=y(4);
```

```
dydt(4)=-y(4)/(t+0.0000001);
```

Нолга бўлинишнинг олдини олиш учун t га ечимга деярли таъсир қилмайдиган даражада кичик бўлган 0,0000001 қийматни қўшиб қўямиз.

3. Интеграллаш интервали ва бошлангич шартларни бериб тенгламани ечамиз.

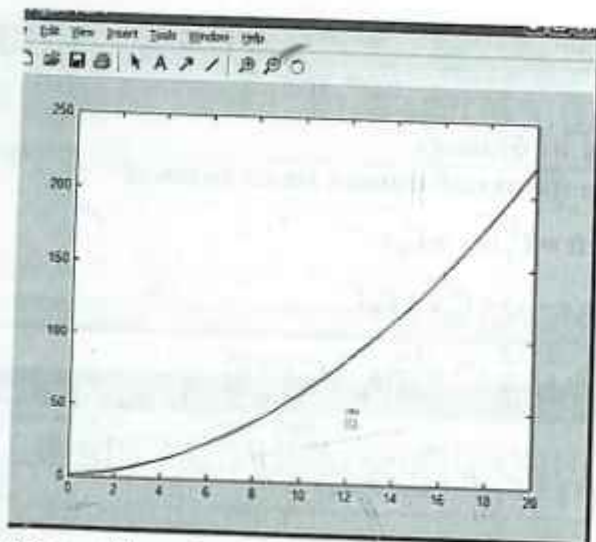
```
>> y0=[1 1 1 1];
```

```
>> tspan=[0 20];
```

```
>> [T,Y]=ode45('dt2',tspan,y0);
```

```
>> plot(T,Y(:,1))
```

```
% 9.5-расм.
```



9.5-расм. $y^{(IV)} + y''' = 0$ тенглама ечимининг графиги.

3. Тенгламани бошлангич шартларга асосан аналитик кўринишда ечамиз

$$\gg y = \text{dsolve}('D4y*t + D3y = 0', 'D3y(0)=1, D2y(0)=1, Dy(0)=1, y(0)=1')$$

$$y = 1 + 1/2 * t * (2 + t)$$

Ечимни Maple пакетига ўтказиб қўлай кўринишга келтирамиз

$$y = 1 + \frac{1t(2+t)}{2}$$

3-мисол.

$y^{(IV)} = 2y'''$ тенгламани ечиш.

Тенгламани аналитик кўриниш билан ечамиз.

$$y''' = u; \quad y^{(IV)} = \frac{du}{dx}; \quad u' = 2u, \quad \frac{du}{dx} = 2u.$$

Ўзгарувчиларни ажратиб ($u \neq 0$ деб олиб) ва интеграллаб қуйидагига эга бўламиз

$$\ln u = 2x + C, \quad u = e^{2x+C} = C_1 e^{2x}$$

$u = y'''$ бўлганлиги учун $y''' = C_1 e^{2x}$ ва

$$y'' = \frac{C_1}{2} e^{2x} + C_2; \quad y' = \frac{C_1}{4} e^{2x} + C_2 x + C_3;$$

$$y = \frac{C_1}{8} e^{2x} + \frac{C_2}{2} x^2 + C_3 x + C_4 \quad (A)$$

Агар $u = 0$ бўлса, яъни $y''' = 0$ бўлади ва $y'' = C_2$, $y' = C_2 x + C_3$, $y = \frac{C_2}{2} x^2 + C_3 x + C_4$. Ушбу ечим (A) формуладан $C_1 = 0$ келиб чиқади.

MATLAB мухитида ечиш.

1. Тенгламани аналитик кўринишда ечамиз

$$\gg \text{dsolve}('D4y=2*D3y')$$

ans =

$$C1 + C2*t + C3*t^2 + C4*exp(2*t)$$

$$y = C1 + C2*t + C3*t^2 + C4*e^2$$

2. Тенгламани сонли усул билан ечамиз ва графигини курамиз.

m- файл ҳосил қиламиз

$$\text{function dydt} = \text{dt3}(t, y);$$

$$\text{dydt} = \text{zeros}(4, 1);$$

$$\text{dydt}(1) = y(2);$$

$$\text{dydt}(2) = y(3);$$

$$\text{dydt}(3) = y(4);$$

$$\text{dydt}(4) = 2*y(4);$$

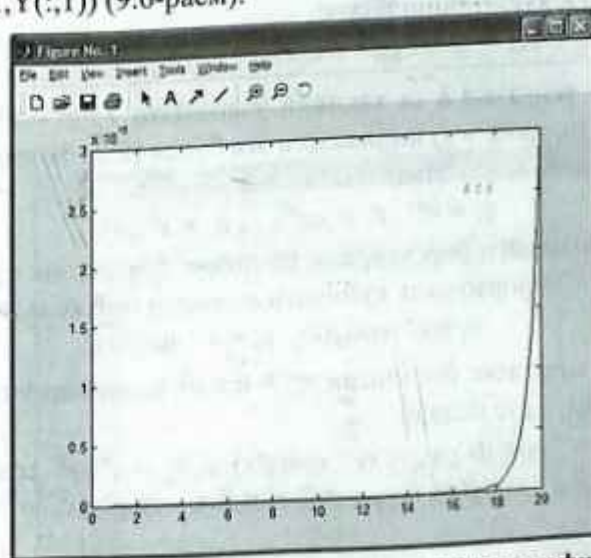
Интеграллаш интервали ва бошлангич шартларни бериб тенгламани ечамиз.

$$\gg y0 = [1 \ 1 \ 1 \ 1];$$

$$\gg \text{tspan} = [0 \ 20];$$

$$\gg [T, Y] = \text{ode45}('dt3', \text{tspan}, y0);$$

$$\gg \text{plot}(T, Y(:, 1)) \quad (9.6\text{-расм}).$$



9.6-расм. $y^{(IV)} = 2y'''$ тенглама ечимининг графиги.

3. Тенгламани бошлангич шартларга асосан аналитик кўринишда ечамиз

$$\gg y = \text{dsolve}('D4y=2*D3y', 'D3y(0)=1, D2y(0)=1, Dy(0)=1, y(0)=1')$$

$$y = 7/8 + 3/4 * t + 1/4 * t^2 + 1/8 * \exp(2*t)$$

Ечимни Maple пакетига ўтказиб қулай кўринишга келтирамиз

$$y = \frac{7}{8} + \frac{3t}{4} + \frac{1t^2}{4} + \frac{1e^{(2t)}}{8}$$

9.3. Коэффициентлари ўзгармас чизикли бир жинсли тенгламалар Назарий маълумот.

$$a_n, a_{n-1}, \dots, a_1, a_0 \text{ коэффициентлари ўзгармас бўлган} \\ a_n y^{(n)} + a_{n-1} y^{(n-1)} + \dots + a_1 y' + a_0 y = 0, \quad (2.1)$$

дифференциал тенглама n -тартибли коэффициентлари ўзгармас чизикли бир жинсли дифференциал тенглама дейилади.

Унинг ечими

$$y = C_1 y_1 + C_2 y_2 + C_3 y_3 + \dots + C_n y_n, \quad (2.2)$$

бу ёрда $y_1, \dots, y_n$ – унинг чизикли мустақил хусусий ечимлари. Улар куйидаги характеристик тенглама ёрдамида аниқланади

$$a_n r^n + a_{n-1} r^{n-1} + \dots + a_1 r + a_0 = 0 \quad (2.3)$$

Агар характеристик тенглама n та ҳақиқий $r_m (m=1, 2, \dots, n)$ илдизларга эга бўлса, ушбу илдизларнинг ҳар бирига

$$y_m = e^{r_m x} \quad (2.4)$$

хусусий ечимлардан бири мос келади ва (2.1) тенгламанинг умумий ечими куйидаги кўринишни олади.

$$y = C_1 e^{r_1 x} + C_2 e^{r_2 x} + \dots + C_n e^{r_n x} \quad (2.5)$$

Агар (2.3) тенглама k та ҳақиқий ўзаро тенг $r_1 = r_2 = \dots = r_k$ (яъни r' илдиз k карраликка эга) илдизларга эга бўлса (2.2) формулада уларга куйидаги ечимлар мос келади

$$y_1 = e^{r_1 x}, y_2 = x e^{r_1 x}, \dots, y_k = x^{k-1} e^{r_1 x} \quad (2.6)$$

(2.3) тенгламадаги бир каррали комплекс боғланган $r_{1,2} = \alpha \pm i\beta$ илдизлар учун (2.2) формулада куйидаги ечимлар мос келади:

$$y_1 = e^{\alpha x} \cos(\beta x); y_2 = e^{\alpha x} \sin(\beta x). \quad (2.7)$$

k каррали комплекс боғланган $r_{1,2} = \alpha \pm i\beta$ илдизлар учун куйидаги хусусий ечимлар мос келади:

$$y_1 = e^{\alpha x} \cos(\beta x), y_2 = x e^{\alpha x} \cos(\beta x), \dots, y_k = x^{k-1} e^{\alpha x} \cos(\beta x); \\ y_{k+1} = e^{\alpha x} \sin(\beta x), y_{k+2} = x e^{\alpha x} \sin(\beta x), \dots, y_{2k} = x^{k-1} e^{\alpha x} \sin(\beta x) \quad (2.8)$$

2.1-мисол

$y''' - 2y'' - y' + 2y = 0$ тенгламани ечинг.

Тенгламани аналитик кўринишда ечамиз.

Характеристик тенглама тузамиз (бунда y нинг ўрнига 1 ва унинг k тартибли ҳосиласининг ўрнига r^k ёзамиз:

$$r^3 - 2r^2 - r + 2 = 0.$$

Характеристик тенгламанинг илдизларини аниқлаймиз.

$$r^2(r-2) - (r-2) = 0, \quad (r-2)(r^2-1) = 0,$$

$$r_1 = -1, \quad r_2 = 1, \quad r_3 = 2.$$

(2.5) формулага асосан умумий ечимни оламиз.

$$y = C_1 e^{-x} + C_2 e^x + C_3 e^{2x}.$$

MATLAB муҳитида ечинг.

1. Тенгламани аналитик кўринишда ечамиз.

```
>> dsolve('D3y-2*D2y-Dy+2*y=0')
```

ans =

```
C1*exp(t)+C2*exp(2*t)+C3*exp(-t)
```

2. Тенгламани сонли усул билан ечинг учун m- файл ҳосил қиламиз

```
function dydt=dt4(t,y);
```

```
dydt=zeros(3,1);
```

```
dydt(1)=y(2);
```

```
dydt(2)=y(3);
```

```
dydt(3)=2*y(3)+y(2)-2*y(1);
```

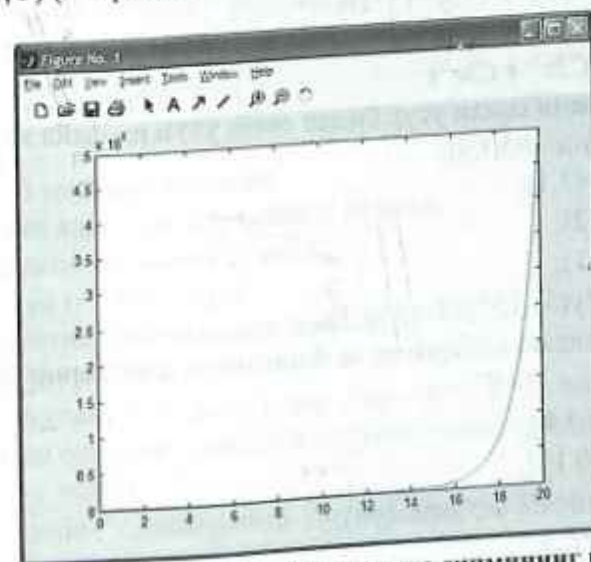
2. Интеграллаш интервали ва бошланғич шартларни бериб тенгламани ечамиз.

```
>> y0=[1 1 1];
```

```
>> tspan=[0 20];
```

```
>> [T,Y]=ode45('dt4',tspan,y0);
```

```
>> plot(T,Y) (9.7-расм).
```



9.7-расм. $y''' - 2y'' - y' + 2y = 0$ тенглама ечимининг графиги.

3. Тенгламани бошланғич шартларга асосан аналитик кўринишда ечамиз

```
>> dsolve('D3y-2*D2y-Dy+2*y=0','D2y(0)=1,Dy(0)=1,y(0)=1')
y=exp(t)
```

Ечимни Maple пакетига ўтказиб, кулай кўринишга келтирамиз
 $y = e^t$

2-мисол

$y'' - 7y' + 15y - 9y = 0$ тенглама ечилсин.

Тенгламани аналитик кўринишда ечамиз.

Характеристик тенглама тузамиз.

$$r^3 - 7r^2 + 15r - 9 = 0,$$

Унинг илдизларини аниқлаймиз.

$$(r-1)(r^2 - 6r + 9) = 0,$$

$$r_1 = 1, r_2 = r_3 = 3.$$

Характеристик тенглама битта бир каррали $r_1 = 1$ ва икки каррали $r_2 = r_3 = 3$ ($k=2$) илдизларга эга.

(2.6) и (2.2) формулалардан фойдаланиб, умумий ечимни аниқлаймиз

$$y = C_1 e^x + C_2 e^{3x} + C_3 x e^{3x}.$$

MATLAB мухитида ечиш.

1. Тенгламани аналитик кўринишда ечамиз

```
>> dsolve('D3y-7*D2y+15*Dy-9*y=0')
```

```
ans = C1*exp(t)+C2*exp(3*t)+C3*exp(3*t)*t
```

$$y = C_1 e^t + C_2 e^{3t} + C_3 t e^{3t}$$

2. Тенгламани сонли усул билан ечиш учун m- файл ҳосил қиламиз

```
function dydt=dt5(t,y);
```

```
dydt=zeros(3,1);
```

```
dydt(1)=y(2);
```

```
dydt(2)=y(3);
```

```
dydt(3)=7*y(3)-15*y(2)+9*y(1);
```

2. Интеграллаш интервали ва бошланғич шартларни бериб тенгламани ечамиз.

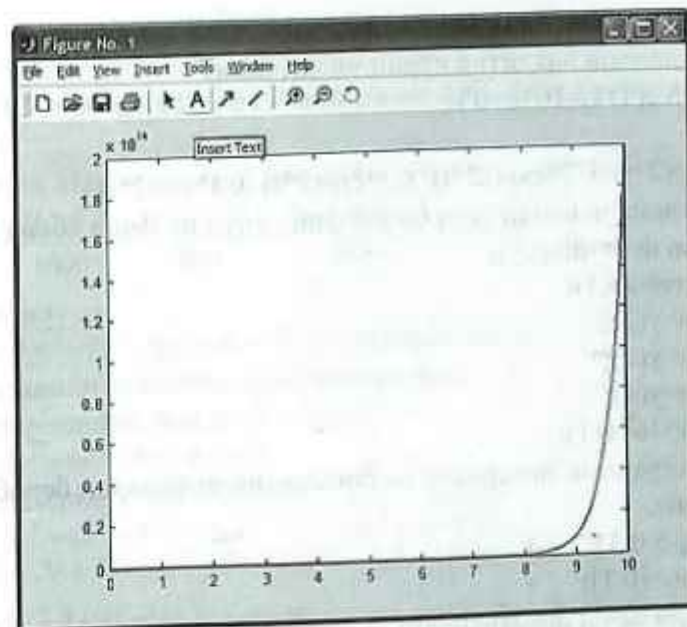
```
>> y0=[2 0.5 0];
```

```
>> tspan=[0 10];
```

```
>> [T,Y]=ode45('dt5',tspan,y0);
```

```
>> plot(T,Y(:,1))
```

```
>> (9.8-расм).
```



9.8-расм. $y'' - 7y' + 15y - 9y = 0$ тенглама ечимининг графиги.

3. Тенгламани бошланғич шартларга асосан аналитик кўринишда ечамиз

```
>> y=dsolve('D3y-7*D2y+15*Dy-9*y=0','D2y(0)=2,Dy(0)=0.5,y(0)=0')
```

```
y = 1/4*exp(t)+1/4*exp(3*t)
```

Ечимни Maple пакетига ўтказиб кулай кўринишга келтирамиз

$$y = \frac{1e^t}{4} + \frac{1e^{3t}}{4}$$

3-мисол

$y^{(4)} - 16y = 0$ тенглама ечилсин.

Тенгламани аналитик кўринишда ечамиз.

Характеристик тенглама тузамиз

$$r^4 - 16 = 0 \text{ ёки } (r^2 - 4)(r^2 + 4) = 0$$

Характеристик тенгламанинг илдизлари

$$r_1 = 2, r_2 = -2, r_3 = 2i, r_4 = -2i$$

Мавхум боғланган r_3 ва r_4 (улар учун $\alpha=0, \beta=2$) илдизларга (2.7)

формулалардан олинган қуйидаги хусусий ечимлар мос келади:

$$y_3 = \cos 2x, y_4 = \sin 2x,$$

Шундай қилиб, тенгламанинг умумий ечими қуйидаги кўринишга эга бўлади

$$y = C_1 e^{2x} + C_2 e^{-2x} + C_3 \cos 2x + C_4 \sin 2x.$$

MATLAB мухитида ечиш.

1. Тенгламани аналитик кўринишда ечамиз

```
>> dsolve('D4y-16*y=0')
```

ans =

$C1 \cdot \exp(2 \cdot t) + C2 \cdot \exp(-2 \cdot t) + C3 \cdot \cos(2 \cdot t) + C4 \cdot \sin(2 \cdot t)$

2. Тенгламани сонли усул билан ечиш учун m- файл ҳосил қиламиз

```
function dydt=dt6(t,y);
```

```
dydt=zeros(4,1);
```

```
dydt(1)=y(2);
```

```
dydt(2)=y(3);
```

```
dydt(3)=y(4);
```

```
dydt(4)=16*y(1);
```

2. Интеграллаш интервали ва бошланғич шартларни бериб тенгламани ечамиз.

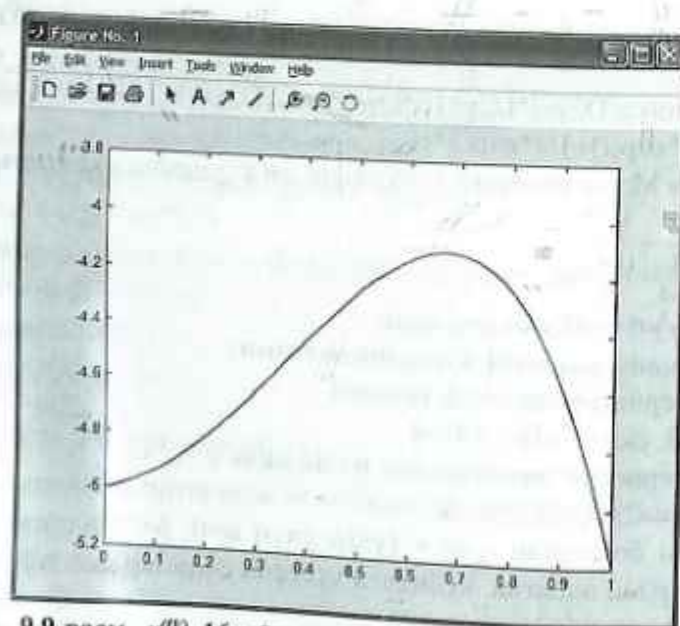
```
>> y0=[-5 0.33 7 -5];
```

```
>> tspan=[0 1];
```

```
>> [t,y]=ode45('dt6',tspan,y0);
```

```
>> plot(t,y(:,1))
```

```
>> (9.9-расм).
```



9.9-расм. $y'''' - 16y = 0$ тенглама ечимининг графиги.

3. Тенгламани бошланғич шартларга асосан аналитик кўринишда ечамиз

```
>> >> y=dsolve('D4y-16*y=0','D3y(0)=-5','D2y(0)=0.33','Dy(0)=7',
```

```
y(0)=-5')
y=-817/1600*exp(2*t)-3117/1600*exp(-2*t)-2033/800*cos(2*t)+33/16
```

*sin(2*t)

Ечимни Maple пакетига ўтказиб қулай кўринишга келтирамиз

$$y = -\frac{817e^{2t}}{1600} - \frac{3117e^{-2t}}{1600} - \frac{2033\cos(2t)}{800} + \frac{33\sin(2t)}{16}$$

4-мисол

$y'''' - 4y''' - 8y'' - 8y' + 4y = 0$ тенгламани ечинг.

Тенгламани аналитик кўринишда ечамиз.

Характеристик тенглама тузамиз

$$r^4 - 4r^3 + 8r^2 - 8r + 4 = 0.$$

Тенгламанинг чап томонини ўзгартирамиз

$$r^4 - 4r^3 + 8r^2 - 8r + 4 = r^4 - 4r^3 + 4r^2 - 8r + 4 = (r^2 - 2r + 2)^2 = (r^2 - 2r + 2)(r^2 - 2r + 2) = 0,$$

$$r^2 - 2r + 2 = 0, \quad r^2 - 2r + 2 = 0.$$

Тенглама карралилиги $k=2$ бўлган комплекс боғланган $r_{1,2} = 1 \pm i$ ил-дизларга эга. Ушбу ҳолда $\alpha=1$, $\beta=1$ бўлганлиги сабабли (2.8) ва (2.2) формулаларга асосан тенгламанинг умумий ечими қуйидагича бўлади.

$$y = C_1 e^x \cos x + C_2 e^x \sin x + C_3 x e^x \cos x + C_4 x e^x \sin x$$

ёки

$$y = e^x [(C_1 + C_3 x) \cos x + (C_2 + C_4 x) \sin x].$$

MATLAB мухитида ечиш.

1. Тенгламани аналитик кўринишда ечамиз

```
>> dsolve('D4y-4*D3y+8*D2y-8*Dy+4*y=0')
```

ans =

$C1 \cdot \exp(t) \cdot \sin(t) + C2 \cdot \exp(t) \cdot \cos(t) + C3 \cdot \exp(t) \cdot \cos(t) \cdot t + C4 \cdot \exp(t) \cdot \sin(t) \cdot t$

2. Тенгламани сонли усул билан ечиш учун m- файл ҳосил қиламиз

```
function dydt=dt7(t,y);
```

```
dydt=zeros(4,1);
```

```
dydt(1)=y(2);
```

```
dydt(2)=y(3);
```

```
dydt(3)=y(4);
```

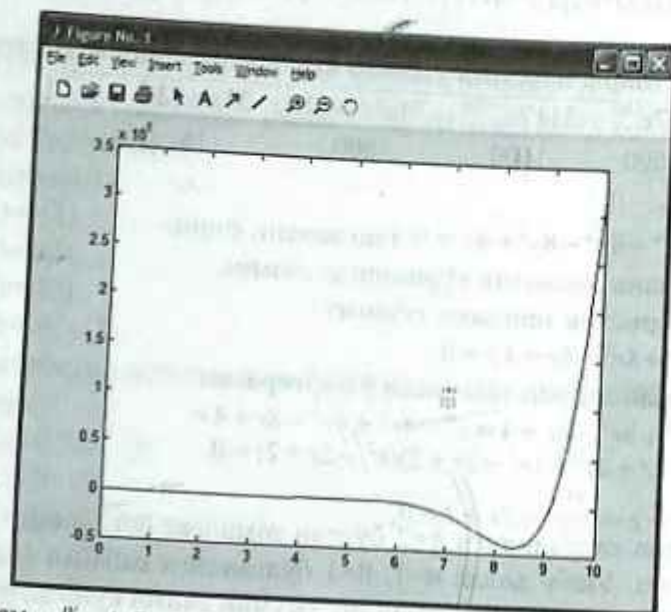
```
dydt(4)=4*y(4)-8*y(3)+8*y(2)-4*y(1);
```

2. Интеграллаш интервали ва бошланғич шартларни бериб тенгламани ечамиз.

```
>> tspan=[0 10];
```

```
>> y0=[-1 1 0 -5];
```

```
>> [t,y]=ode45('dt7',tspan,y0);
>> plot(t,y(:,1))
>> (9.10-расм).
```



9.10-расм. $y'' - 4y' - 8y'' - 8y' + 4y = 0$ тенглама ечимининг графиги.

3. Тенгламани бошлангич шартларга асосан аналитик кўринишда ечамиз

```
>> y=dsolve('D4y-4*D3y+8*D2y-8*Dy+4*y=0','D3y(0)=-5,D2y(0)=1,
Dy(0)=0,y(0)=-5')
```

$y = -5 \cdot \exp(t) \cdot \cos(t) + 6 \cdot \exp(t) \cdot \sin(t) - 9/2 \cdot \exp(t) \cdot \sin(t) \cdot t - \exp(t) \cdot \cos(t) \cdot t$
Ечимни Maple пакетига ўтказиб қулай кўринишга келтирамиз

$$y = -5e^t \cos(t) + 6e^t \sin(t) - \frac{9e^t \sin(t)t}{2} - e^t \cos(t)t$$

5-мисол

$y^{(6)} + 2y^{(4)} + y'' = 0$ тенгламани ечинг.

Тенгламани аналитик кўринишда ечамиз.

Характеристик тенглама тузамиз:

$$r^6 + 2r^4 + r^2 = 0.$$

Тенгламанинг чап томонини ўзгартирамиз

$$r^2(r^4 + 2r^2 + 1) = 0 \text{ ёки } r^2(r^2 + 1)^2 = 0.$$

Шундай қилиб

$$r(r^2 + 1)(r^2 + 1) = 0.$$

характеристик тенглама битта икки қаррали ҳақиқий $r = 0$ ($r_1 = r_2 = 0$) илдизга ва икки қаррали мавҳум боғланган $r = \pm i$ ($r_3 = r_4 = i$, $r_5 = r_6 = -i$)

илдизлар жуфтлигига эга. (2.8), (2.2) ва (2.6) формулаларга асосан умумий ечимни аниқлаймиз

$$y = C_1 + C_2 x + (C_3 + C_4 x) \cos x + (C_5 + C_6 x) \sin x$$

MATLAB муҳитида ечинг.

1. Тенгламани аналитик кўринишда ечамиз

```
>> dsolve('D6y+2*D4y+D2y=0')
```

ans =

$$C1 + C2*t + C3*\cos(t) + C4*\sin(t) + C5*\cos(t)*t + C6*\sin(t)*t$$

2. Тенгламани сонли усул билан ечинг учун m- файл ҳосил қиламиз
function dydt=dt8(t,y);

```
dydt=zeros(6,1);
```

```
dydt(1)=y(2);
```

```
dydt(2)=y(3);
```

```
dydt(3)=y(4);
```

```
dydt(4)=y(5);
```

```
dydt(5)=y(6);
```

```
dydt(6)=-2*y(5)-y(3);
```

2. Интеграллаш интервали ва бошлангич шартларни бериб тенгламани ечамиз.

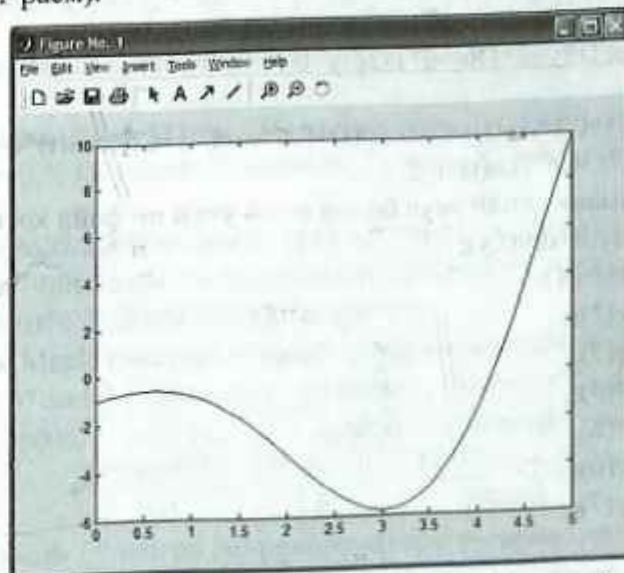
```
>> tspan=[0 5];
```

```
>> y0=[-1 1 0 -5 0 10];
```

```
>> [t,y]=ode45('dt8',tspan,y0);
```

```
>> plot(t,y(:,1))
```

```
>> (9.11-расм).
```



9.11-расм. $y^{(6)} + 2y^{(4)} + y'' = 0$ тенглама ечимининг графиги.

3. Тенгламани бошланғич шартларга асосан аналитик кўринишда ечамиз

```
>> >> y=dsolve('D6y+2*D4y+D2y=0','D5y(0)=-1,D4y(0)=1,D3y(0)=0,D2y(0)=-5,Dy(0)=0,y(0)=10')
```

$$y = 1 - t + 9 \cos(t) + \frac{3 \sin(t)}{2} + 2 \sin(t)t - \frac{1 \cos(t)}{2} t^2$$

Ечимни Maple пакетига ўтказиб қулай кўринишга келтирамиз

$$y = 1 - t + 9 \cos(t) + \frac{3 \sin(t)}{2} + 2 \sin(t)t - \frac{1 \cos(t)}{2} t^2$$

6-МИСОЛ

$y^{(8)} + 2y^{(6)} - 2y'' - y = 0$ тенгламани ечинг.

Тенгламани аналитик кўринишда ечамиз.

Характеристик тенглама тузамиз:

$$r^8 + 2r^6 - 2r^2 - 1 = 0$$

ва унинг илдизларини аниқлаймиз

$$(r^8 + 2r^6 - 2r^2 - 1) : (r^2 - 1) = r^6 + 3r^4 + 3r^2 + 1 = (r^2 + 1)^3$$

Характеристик тенглама қуйидаги кўринишга ўтади

$$(r^2 - 1)(r^2 + 1)^3 = 0 \text{ ёки}$$

$$(r - 1)(r + 1)(r^2 + 1)(r^2 + 1)(r^2 + 1) = 0.$$

Тенглама иккита ҳақиқий ва қарралилиги $k=3$ бўлган иккита мавҳум илдизларга ($r_3 = r_4 = r_5 = i, r_6 = r_7 = r_8 = -i$) эга. (2.8), (2.2) и (2.6) формулалардан фойдаланиб умумий ечимни оламиз.

$$y = C_1 e^x + C_2 e^{-x} + (C_3 + C_4 x + C_5 x^2) \cos x + (C_6 + C_7 x + C_8 x^2) \sin x.$$

MATLAB муҳитида ечиш.

1. Тенгламани аналитик кўринишда ечамиз

```
>> dsolve('D8y+2*D6y-2*D2y-y=0')
```

ans =

$$C1 \cos(t) + C2 \sin(t) + C3 \exp(t) + C4 \exp(-t) + C5 \cos(t)t + C6 \sin(t)t^2 + C7 \sin(t)t + C8 \cos(t)t^2$$

2. Тенгламани сонли усул билан ечиш учун m- файл ҳосил қиламиз

```
function dydt=dt9(t,y);
```

```
dydt=zeros(8,1);
```

```
dydt(1)=y(2);
```

```
dydt(2)=y(3);
```

```
dydt(3)=y(4);
```

```
dydt(4)=y(5);
```

```
dydt(5)=y(6);
```

```
dydt(6)=y(7);
```

```
dydt(7)=y(8);
```

```
dydt(8)=-2*y(7)+2*y(3)+y(1);
```

2. Интеграллаш интервали ва бошланғич шартларни бериб тенгламани ечамиз.

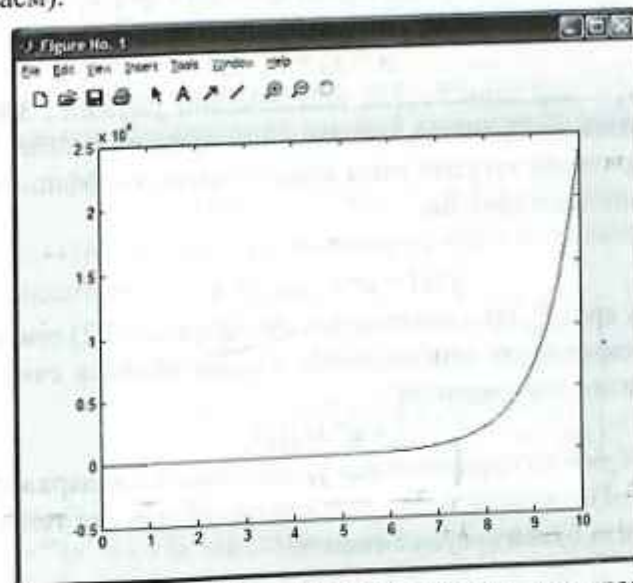
```
>> tspan=[0 10];
```

```
>> y0=[-10 10 0 -0.5 0 10 4.1 -0.00004];
```

```
>> [t,y]=ode45('dt9',tspan,y0);
```

```
>> plot(t,y(:,1))
```

(9.12-расм).



9.12-расм. $y^{(8)} + 2y^{(6)} - 2y'' - y = 0$ тенглама ечимининг графиги.

3. Тенгламани бошланғич шартларга асосан аналитик кўринишда ечамиз

```
>> y=dsolve('D8y+2*D6y-2*D2y-y=0','D7y(0)=-10,D6y(0)=10,D5y(0)=0,D4y(0)=-0.5,D3y(0)=0,D2y(0)=10,Dy(0)=4.1,y(0)=-0.00004')
```

$$y = -962507/200000 \cos(t) + 1643/160 \sin(t) + 814999/400000 \exp(t) + 1109999/400000 \exp(-t) + 87493/400000 \sin(t)t - 869/160 \cos(t)t^2 + 141/160 \sin(t)t^2 - 12499/400000 \cos(t)t^2$$

Ечимни Maple пакетига ўтказиб қулай кўринишга келтирамиз

$$y = -\frac{962507 \cos(t)}{200000} + \frac{1643 \sin(t)}{160} + \frac{814999 e^t}{400000} + \frac{1109999 e^{-t}}{400000} + \frac{87493 \sin(t)t}{400000} - \frac{869 \cos(t)t^2}{160} + \frac{141 \sin(t)t^2}{160} - \frac{12499 \cos(t)t^2}{400000}$$

Бир жинсли бўлмаган коэффициентлари ўзгармас чизикли тенгламалар

Назарий маълумот

$$a_n y^{(n)} + a_{n-1} y^{(n-1)} + \dots + a_2 y'' + a_1 y' + a_0 y = f(x) \quad (3.1)$$

дифференциал тенглама бир жинсли бўлмаган коэффициентлари $a_n, a_{n-1}, \dots, a_2, a_1, a_0$ ўзгармас чизикли тенглама деб аталади.

Агар $f(x) = 0$ бўлса тенглама бир жинслига айланади:

$$a_n y^{(n)} + a_{n-1} y^{(n-1)} + \dots + a_2 y'' + a_1 y' + a_0 y = 0 \quad (3.2)$$

(3.1) тенгламанинг умумий ечими куйидаги формула бўйича топилди

$$y = y_0 + \bar{y}, \quad (3.3)$$

бу ерда y_0 – бир жинсли (3.2) тенгламанинг умумий ечими, $\bar{y}$ – берилган бир жинсли бўлмаган тенгламанинг хусусий ечими.

Оддий ҳолларда хусусий ечим аниқланмаган коэффицентлар усули билан топилиши мумкин.

Arap

$$f(x) = e^{ix} P_m(x), \quad (3.4)$$

бўлса (бу ерда $P_m(x) = m$ даражали кўпхад) ва α (3.2) тенгламага мос келувчи хара-теристик тенгламанинг илдизи бўлмаса ечим қуйидаги кўринишда изланиши мумкин

$$\bar{y} = e^{iu} M_m(x), \quad (3.5)$$

бу ерда $M_m(x)$ - коэффициентлари аниқланмаган m даражали кўпхад.

Агар α (3.2) тенгламага мос келувчи характеристик тенгламанинг k каррали илдизи бўлса хусусий ечим

$$\bar{y} = x^k e^{\alpha x} M_m(x), \quad (3.6)$$

кўринишда бўлади

Агар $\alpha = 0$ $f_i(x) = P_m(x)$ да ва $\alpha = 0$ характеристик тенгламанинг илдизи бўлмаса $\bar{y} = M_m(x)$ хусусий ечим мавжуд. Агар $\alpha = 0$ – характеристик тенгламанинг илдизи бўлса хусусий ечим $\bar{y} = x^k M_m(x)$ бўлади.

Агар

$$f(x) = e^{\alpha x} [P(x) \cos \beta x + Q(x) \sin \beta x], \quad (3.7)$$

тенгламадаги $P(x)$ ва $Q(x)$ кўпхадларнинг энг юкори даражаси m бўлса ва $\alpha + i\beta$ характеристик тенгламанинг илдизи бўлмаса хусусий ечим куйидаги кўринишда изланади

$$\bar{y} = e^{\alpha x} [M(x) \cos \beta x + N(x) \sin \beta x], \quad (3.8)$$

агар $a + i\beta$ характеристик тенгламанинг k каррალი илдизи бўлса хусусий ечим

$$\bar{y} = x^k e^{\alpha x} [M(x) \cos \beta x + N(x) \sin \beta x], \quad (3.9)$$

кўринишда бўлади.

Агар

$$f(x) = f_1(x) + f_2(x) + f_3(x) \quad (3.10)$$

бўлиб, $f_1(x), f_2(x), f_3(x)$ функциялар (3.4) ва (3.7) кўринишларда бўлса хусусий ечим

$$\bar{y} = \bar{y}_1 + \bar{y}_2 + \bar{y}_3, \quad (3.11)$$

кўринишда бўлади, юқорида келтирилган қоидаларга асосан аниқланади.

Умумий ҳолда (3.1) тенгламанинг ечими ихтиёрий ўзгармасларнинг вариацияси усули, яъни Лагранж усули билан олиниши мумкин. Агар

$$y = C_1 y_1 + C_2 y_2 + \dots + C_n y_n$$

(3.2) бир жинсли тенгламанинг умумий ечими бўлса (3.1) бир жинсли бўлмаган тенгламанинг умумий ечими куйидаги кўринишда изланади

$$y = C_1(x)y_1 + C_2(x)y_2 + \dots + C_n(x)y_n. \quad (3.12)$$

$C_1(x)y_1, C_2(x)y_2, \dots, C_n(x)y_n$ функциялар куйидаги тенгламалар системасидан аниқланади:

[illegible]

1-МИСОЛ.

1-МАСОЛ.
 $y''' + y = e^{2x}(x^2 + x + 1)$ тенгламани ечиш (9.13-расм).

Ечиш. Ушбу дифференциал тенглама бир жинсли бўлмаган коэф-
фициентлари ўзгармас чизикли тенглама бўлиб унинг ўнг томони (3.4)
кўринишга эга ва $\alpha = 2$, $P_2(x) = x^2 + x + 1$, яъни $m = 2$.

Аввал бир жинсли тенгламага мос келувчи умумий счимни аниқлаймиз.

$$y''' + y = 0.$$

$r^3+1=0$ характеристик тенгламанинг илдизлари

$$r_1 = 1, r_2 = -\frac{1}{2} + \frac{i\sqrt{3}}{2}, r_3 = -\frac{1}{2} - \frac{i\sqrt{3}}{2}$$

га асосан бир жинсли тенгламага

$$y_0 = C_1 e^{-x} + e^{-\frac{x}{2}} \left(C_2 \cos \frac{\sqrt{3}}{2} x + C_3 \sin \frac{\sqrt{3}}{2} x \right)$$

Модомики $a = 2$ сон $P_2(x)$ характеристик тенгламанинг илдизи бўлмаганлиги сабабли (3.5) формулага асосан бошланғич тенгламанинг хусусий ечимини қуйидаги кўринишда излаймиз

$$\bar{y} = e^{2x}(Ax^2 + Bx + C).$$

$\bar{y} = e^{Ax} (Ax^2 + Bx + C)$.
 $\bar{y}$ функциянинг ҳосилаларини аниқлаймиз:

$$\bar{y}' = e^{2x}(2Ax + B + 2Ax^2 + 2Bx + 2C);$$

$$\bar{y}'' = e^{2x}(2A + 8Ax + 4B + 4Ax^2 + 4Bx + 4C);$$

$$\bar{y}''' = e^{2x}(12A + 24Ax + 12B + 8Ax^2 + 8Bx + 8C)$$

$\bar{y}$ ва $\bar{y}'''$ учун ифодаларни берилган тенгламага қўйиб ва e^{2x} га қискартириб қуйидаги айниятга эга бўламиз

$$12A + 24Ax + 12B + 9Ax^2 + 9Bx + 9C \equiv x^2 + x + 1,$$

ундан A, B, C коэффициентларни аниқлаймиз

$$9A = 1, 24A + 9B = 1, 12A + 12B + 9C = 1$$

$$A = \frac{1}{9}, B = -\frac{5}{27}, C = \frac{17}{81},$$

ва тенгламанинг хусусий ечимини топамиз

$$\bar{y} = e^{2x} \left(\frac{1}{9}x^2 - \frac{5}{27}x + \frac{17}{81} \right).$$

Берилган тенгламанинг умумий ечими қуйидаги кўринишда бўлади

$$y = y_0 + \bar{y} = C_1 e^{-x} + e^{-\frac{x}{2}} \left(C_2 \cos \frac{\sqrt{3}}{2}x + C_3 \sin \frac{\sqrt{3}}{2}x \right) + e^{2x} \left(\frac{1}{9}x^2 - \frac{5}{27}x + \frac{17}{81} \right).$$

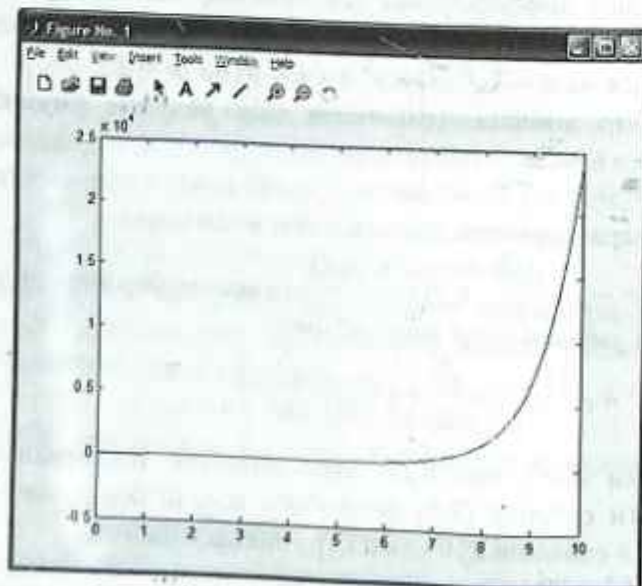
MATLAB тизимида ечиш.

1. Тенгламани аналитик кўринишда ечамиз

```
>> dsolve('D3y+y=(e^2*t)*(t^2+t+1)')
```

ans =

$$-6e^{2t} + e^{2t}t + e^{2t}t^2 + e^{2t}t^3 + C_1 \exp(-t) + C_2 \exp(1/2*t) \sin(1/2*3^{1/2}*t) + C_3 \exp(1/2*t) \cos(1/2*3^{1/2}*t)$$



9.13-расм. $y'' + y = e^{2x}(x^2 + x + 1)$ тенглама ечимининг графиги.

2. Тенгламани сонли усул билан ечиш учун m- файл ҳосил қиламиз
function dydt=dt10(t,y);

```
dydt=zeros(3,1);
```

```
dydt(1)=y(2);
```

```
dydt(2)=y(3);
```

```
dydt(3)=-y(1)+(exp(2*t))*(t.^2+t+1);
```

Интеграллаш интервали ва бошлангич шартларни бериб тенгламани ечамиз.

```
>> y0=[-0.1 -1 1];
```

```
>> tspan=[0 15];
```

```
>> [t,y]=ode45('dt10',tspan,y0);
```

```
>> plot(t,y(:,1))
```

3. Тенгламани бошлангич шартларга асосан аналитик кўринишда ечамиз

```
>> y=dsolve('D3y+y=(e^2*t)*(t^2+t+1)', 'D2y(0)=-0.1, Dy(0)=-1, y(0)=1')
```

```
y = -6*e^2 + e^2*t + e^2*t^2 + e^2*t^3 + (5/3*e^2 + 19/30)*exp(-t) + (13/3*e^2 + 11/30)*exp(1/2*t)*cos(1/2*3^(1/2)*t) - 1/30*(30*e^2 + 11)*3^(1/2)*exp(1/2*t)*sin(1/2*3^(1/2)*t)
```

>> Ечимни Maple пакетига ўтказиб қулай кўринишга келтирамиз

$$y = -6e^2 + e^2t + e^2t^2 + e^2t^3 + \left(\frac{5e^2}{3} + \frac{19}{30} \right) e^{(-t)} + \left(\frac{13e^2}{3} + \frac{11}{30} \right) e^{\left(\frac{t}{2} \right)} \cos \left(\frac{13^{(1/2)}}{2} \right)$$

$$- \frac{1(30e^2 + 11)3^{(1/2)}e^{(t/2)}\sin\left(\frac{13^{(1/2)}}{2}\right)}{30}$$

2-мисол.

$y''' + y = x^4$ тенгламани ечиш (9.14-расм).

Характеристик тенгламаси

$$r^3 + r = 0 \text{ ёки } r(r^2 + 1) = 0$$

бўлиб $r_1 = 0$, $r_2 = i$, $r_3 = -i$ илдишларга эга, шунинг учун $y'' + y' = 0$

бир жинсли тенгламанинг умумий ечими қуйидагича бўлади

$$y_0 = C_1 + C_2 \cos x + C_3 \sin x.$$

$\alpha = 0$ сон характеристик тенгламанинг оддий илдизи бўлганлиги сабабли хусусий ечимни қуйидаги кўринишда излаймиз

$$\bar{y} = xe^{0x}(Ax^4 + Bx^3 + Cx^2 + Dx + E)$$

ёки

$$\bar{y} = (Ax^5 + Bx^4 + Cx^3 + Dx^2 + Ex).$$

$\bar{y}$ функциянинг ҳосилаларини аниқлаймиз

$$\bar{y}' = 5Ax^4 + 4Bx^3 + 3Cx^2 + Dx + E;$$

$$\bar{y}'' = 20Ax^3 + 12Bx^2 + 6Cx + 2D;$$

$$\bar{y}''' = 60Ax^2 + 24Bx + 6C.$$

$\bar{y}', \bar{y}''$ учун ифодаларни берилган тенгламага қўйиб қуйидаги айти-
ятни ҳосил қиламиз

$$60Ax^2 + 24Bx + 6C + 5Ax^4 + 4Bx^3 + 3Cx^2 + Dx + E = x^4,$$

ундан A, B, C, D, E ларнинг қийматларини аниқлаймиз

$$5A = 1, 4B = 0, 60A + 3C = 0, 24B + 2D = 0, 6C + E = 0,$$

$$A = \frac{1}{5}, B = 0, C = -4, D = 0, E = 24.$$

Шундай қилиб

$$\bar{y} = \frac{1}{5}x^5 - 4x^3 + 24x$$

ва тенгламанинг умумий ечимига эга бўламиз

$$y = C_1 + C_2 \cos x + C_3 \sin x + \frac{1}{5}x^5 - 4x^3 + 24x,$$

MATLAB тизимида ечиш

1. Тенгламани аналитик кўринишда ечамиз

```
>> dsolve('D3y+Dy=t^4')
```

```
ans =
```

$$1/5*t^5 - 4*t^3 + 24*t + C1 + C2*\cos(t) + C3*\sin(t)$$

Ечимни Maple дастури ёрдамида одатдаги кўринишга ўтказамиз:

$$> \frac{1}{5}t^5 - 4t^3 + 24t + C1 + C2\cos(t) + C3\sin(t)$$

Тенгламани сонли усул билан ечиш учун m- файл ҳосил қиламиз

```
function dydt=dt11(t,y);
```

```
dydt=zeros(3,1);
```

```
dydt(1)=y(2);
```

```
dydt(2)=y(3);
```

```
dydt(3)=-y(2)+(t.^4);
```

Интеграллаш интервали ва бошланғич шартларни бериб тенглама-
ни ечамиз.

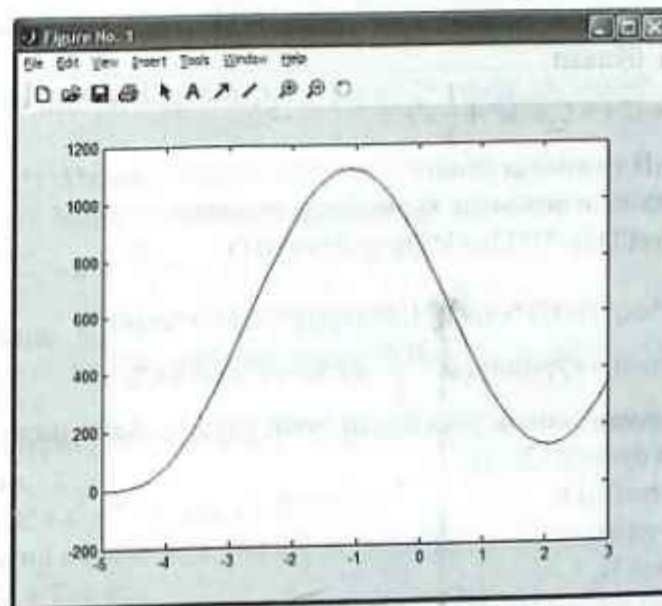
```
>> y0=[-1 -1 -1];
```

```
>> tspan=[-5 3];
```

```
>> [t,y]=ode45('dt11',tspan,y0);
```

```
>> plot(t,y(:,1))
```

```
>>
```



9.14-расм. $y'' + y = x^4$ тенглама ечимининг графиги.

Тенгламани бошланғич шартларга асосан аналитик кўринишда еча-
миз

```
>> y=dsolve('D3y+Dy=t^4','D2y(0)=-1, Dy(0)=-1, y(0)=-1')
```

$$y = 1/5*t^5 - 4*t^3 + 24*t - 2 + \cos(t) - 25*\sin(t)$$

Ечимни Maple пакетига ўтказиб қулай кўринишга келтирамиз

$$y = \frac{1}{5}t^5 - 4t^3 + 24t - 2 + \cos(t) - 25\sin(t)$$

3-мисол

$y'' - 3y' + 3y = 2e^x$ тенгламани ечиш (9.15-расм).

Ечиш. $\alpha = 1$ илдиз $r^2 - 3r + 3 = 0$ характеристик тенгламанинг уч
каррали илдизи бўлганлиги сабабли тенгламанинг хусусий ечимини
қуйидаги кўринишда излаймиз

$$\bar{y} = ax^3 e^x.$$

$\bar{y}$ функцияни дифференциаллаймиз:

$$\bar{y}' = (ax^3 + 3ax^2)e^x$$

$$\bar{y}'' = (ax^3 + 6ax^2 + 6ax)e^x$$

$$\bar{y}''' = (ax^3 + 9ax^2 + 18ax + 6a)e^x.$$

Аниқланган $\bar{y}', \bar{y}'', \bar{y}'''$ ва $\bar{y}$ ифодаларни дастлабки тенгламага
қўйиб ва натижани e^x га қисқартириб a қийматини аниқлаймиз

$$6a = 2, a = \frac{1}{3}.$$

$y_0 = (C_1 + C_2x + C_3x^2)e^x$ ва тенгламанинг умумий ечими куйидаги кўринишда бўлади

$$y = (C_1 + C_2x + C_3x^2)e^x + \frac{1}{3}x^3e^x.$$

MATLAB тизимида ечиш

1. Тенгламани аналитик кўринишда ечамиз

```
>> dsolve('D3y-3*D2y+3*Dy-y=2*exp(t)')
```

ans =

```
1/3*t^3*exp(t)+C1*exp(t)+C2*exp(t)*t^2+C3*exp(t)*t
```

ёки одатдаги кўринишда $\frac{1}{3}t^3e^t + C_1e^t + C_2e^t t^2 + C_3e^t t$

2. Тенгламани сонли усул билан ечиш учун m- файл ҳосил қиламиз

```
function dydt=dt12(t,y);
```

```
dydt=zeros(3,1);
```

```
dydt(1)=y(2);
```

```
dydt(2)=y(3);
```

```
dydt(3)=3*y(3)-3*y(2)+y(1)+2*exp(t);
```

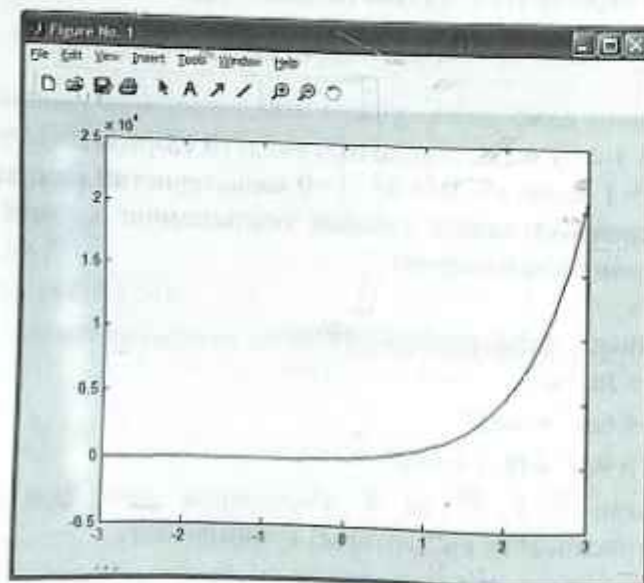
Интеграллаш интервали ва бошлангич шартларни бериб, тенгламани ечамиз.

```
>> tspan=[-3 3];
```

```
>> y0=[0 -1 1];
```

```
>> [t,y]=ode45('dt12',tspan,y0);
```

```
>> plot(t,y(:,1))
```



9.15-расм. $y''' - 3y'' + 3y' - y = 2e^x$ тенглама ечимининг графиги.

3. Тенгламани бошлангич шартларга асосан аналитик кўринишда ечамиз

```
>> y=dsolve('D3y-3*D2y+3*Dy-y=2*exp(t)', 'D2y(0)=0, Dy(0)=-1, y(0)=1')
```

```
y = 1/3*t^3*exp(t)+exp(t)+3/2*exp(t)*t^2-2*exp(t)*t
```

Ечимни Maple пакетида ўтказиб қулай кўринишга келтирамиз

$$y = \frac{1}{3}t^3e^t + e^t + \frac{3}{2}t^2e^t - 2te^t$$

4-мисол.

$y^{IV} - y = e^{\alpha x} + e^{-\alpha x} + \cos \beta x$ тенгламани ечиш (9.16-расм).

$$r^4 - 1 = 0$$

характеристик тенглама $r_1 = 1, r_2 = -1, r_3 = i, r_4 = -i$ илдизларга эга, шунинг учун

$$y = C_1e^x + C_2e^{-x} + C_3\cos x + C_4\sin x.$$

Хусусий ечимни куйидаги формулага асосан излаймиз

$$\bar{y} = \bar{y}_1 + \bar{y}_2 + \bar{y}_3,$$

бу ерда

$$\bar{y}_1 = Ae^{\alpha x}, \bar{y}_2 = Be^{-\alpha x}, \bar{y}_3 = C \sin \beta x + D \cos \beta x \text{ ечимлар}$$

$$y^{IV} - y = e^{\alpha x}, y^{IV} - y = e^{-\alpha x}, y^{IV} - y = \cos \beta x.$$

тенгламаларнинг мос хусусий ечимлари.

$\bar{y}_1^{IV}, \bar{y}_2^{IV}, \bar{y}_3^{IV}$ ҳосилаларни аниқлаймиз ва уларнинг $\bar{y}_1, \bar{y}_2, \bar{y}_3$ ифодаларини $y^{IV} - y = e^{\alpha x}, y^{IV} - y = e^{-\alpha x}, y^{IV} - y = \cos \beta x$ тенгламаларга қўйиб A, B, C, D ларнинг қийматларини аниқлаймиз

$$A = \frac{1}{\alpha^4 - 1}, B = \frac{1}{\alpha^4 - 1}, C = 0, D = \frac{1}{\beta^4 - 1}.$$

Бошлангич тенгламанинг умумий ечими куйидаги кўринишда бўлади

$$y = C_1e^x + C_2e^{-x} + C_3\cos x + C_4\sin x + \frac{e^{\alpha x} + e^{-\alpha x}}{\alpha^4 - 1} + \frac{\cos \beta x}{\beta^4 - 1}.$$

MATLAB тизимида ечиш

1. Тенгламани аналитик кўринишда ечамиз

```
>> dsolve('D4y-y=exp(t)+exp(-t)+cos(t)')
```

ans =

```
-1/80*(30*exp(-2*t)+30+37*exp(-t)*cos(t)+20*t*exp(-2*t)+4*cos(t)^3*exp(-t)-exp(-t)*cos(3*t)+20*t*sin(t)*exp(-t)-20*t)*exp(t)+C1*cos(t)+C2*sin(t)+C3*exp(t)+C4*exp(-t)
```

ёки

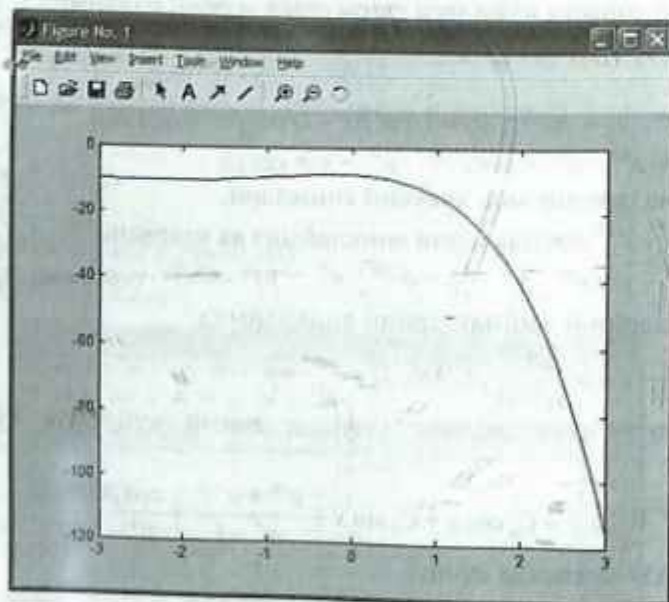
$$-1(30e^{(-2t)} + 30 + 37e^{(-t)} \cos(t) + 20te^{(-2t)} + 4\cos(t)^3 e^{(-t)} - e^{(-t)} \cos(3t) + 20t \sin(t) e^{(-t)} - 20t)e^t / 80 + C_1 \cos(t) + C_2 \sin(t) + C_3 e^t + C_4 e^{(-t)}$$

2. Тенгламани сонли усул билан ечиш учун m- файл ҳосил қиламиз

```
function dydt=dt13(t,y);
dydt=zeros(4,1);
dydt(1)=y(2);
dydt(2)=y(3);
dydt(3)=y(4);
dydt(4)=y(1)+exp(t)+exp(-t)+cos(t);
```

Интеграллаш интервали ва бошланғич шартларни бериб тенгламани ечамиз.

```
>> tspan=[-3 3];
>> y0=[-10 -1 1 -1];
>> [t,y]=ode45('dt13',tspan,y0);
>> plot(t,y(:,1))
>>
```



9.16-расм. $y' - y = e^t + e^{-t} + \cos t$ тенглама ечимининг графиги.

3. Тенгламани бошланғич шартларга асосан аналитик кўринишда ечамиз

```
>> y=dsolve('D4y-y=exp(t)+exp(-t)+cos(t)', 'D3y(0)=-10, D2y(0)=-1, Dy(0)=1, y(0)=-1')
```

$$y = -1/80 * (30 * \exp(-2*t) + 37 * \exp(-t) * \cos(t) + 4 * \cos(t)^3 * \exp(-t) - \exp(-t) * \cos(3*t) + 20 * t * \exp(-2*t) + 20 * \sin(t) * t * \exp(-t) + 30 - 20 * t) * \exp(t) + 3/4 * \cos(t) + 11/2 * \sin(t) - 5/2 * \exp(t) + 2 * \exp(-t)$$

Ечимни Maple пакетига ўтказиб қулай кўринишга келтирамиз

$$y = -1 \left(30e^{(-2t)} + 37e^{(-t)} \cos(t) + 4 \cos(t)^3 e^{(-t)} - e^{(-t)} \cos(3t) + 20te^{(-2t)} + 20 \sin(t) te^{(-t)} + 30 - 20t \right) e^t / 80 + \frac{3 \cos(t)}{4} + \frac{11 \sin(t)}{2} - \frac{5e^t}{2} + 2e^{(-t)}$$

5-мисол.

$y'' + y' = \operatorname{tg} x$ тенгламани ечиш (9.17-расм).

$r^2 + r = 0$ характеристик тенгламанинг илдизлари $r_1 = 0$, $r_2 = i$, $r_3 = -i$

бўлганлиги сабабли

$$y_1 = 1, y_2 = \cos x, y_3 = \sin x.$$

Шунинг учун умумий ечим қуйидаги кўринишда бўлади

$$y = C_1 + C_2 \cos x + C_3 \sin x.$$

Ихтиёрий доимийларнинг вариацияси усули билан берилган бир жинсли бўлмаган тенгламанинг умумий ечимини топамиз

$$y = C_1(x) + C_2(x) \cos x + C_3(x) \sin x.$$

$C_1(x)$, $C_2(x)$, $C_3(x)$ функцияларни аниқлаш учун (3.13) система қуйидаги кўринишда ёзилади

$$\begin{cases} C_1' + C_2' \cos x + C_3' \sin x = 0 \\ -C_2' \sin x + C_3' \cos x = 0 \\ -C_2' \cos x - C_3' \sin x = \operatorname{tg} x \end{cases}$$

Иккинчи тенгламанинг иккала томонини $\sin x$ га, учинчи тенгламани $\cos x$ га кўпайтириб ва уларни ўзаро қўшиб C_2' ни аниқлаймиз

$$C_2' = -\sin x.$$

Иккинчи тенгламадан C_3' ни топамиз

$$C_3' = \frac{\sin^2 x}{\cos x}.$$

Биринчи ва учинчи тенгламаларни ўзаро қўшиб C_1' аниқлаймиз

$$C_1' = \operatorname{tg} x.$$

Олинган учала тенгламаларни интеграллаймиз:

$$C_1(x) = -\ln \cos x + C_1$$

$$C_2(x) = \cos x + C_2$$

$$C_3 = \sin x - \ln \operatorname{tg} \left(\frac{x}{2} + \frac{\pi}{4} \right) + C_3$$

бу ерда C_1 , C_2 , C_3 — ихтиёрий доимийлар.

Шундай қилиб, берилган бир жинсли бўлмаган тенгламанинг умумий ечими қуйидаги кўринишда бўлади

$$y = -\ln \cos x - \sin x \ln \operatorname{tg} \left(\frac{x}{2} + \frac{\pi}{4} \right) + C_2 \cos x + C_3 \sin x + \bar{C}_1,$$

бу ерда $\bar{C}_1 = C_1 + 1$.

MATLAB тизимида ечиш

1. Тенгламани аналитик кўринишда ечамиз

```
>> dsolve('D3y+Dy=tan(t)')
```

ans =

$$1/2 \cdot \log(\cos(t)) - \sin(t) \cdot \log\left(\frac{1+\sin(t)}{\cos(t)}\right) + C1 + C2 \cdot \cos(t) + C3 \cdot \sin(t)$$

Ёки

$$> \frac{1}{2} - \log(\cos(r)) - \sin(r) \log\left(\frac{1+\sin(r)}{\cos(r)}\right) + C1 + C2 \cos(r) + C3 \sin(r)$$

2. Тенгламани сонли усул билан ечиш учун m- файл ҳосил қиламиз

```
function dydt=dt14(t,y);
```

```
dydt=zeros(3,1);
```

```
dydt(1)=y(2);
```

```
dydt(2)=y(3);
```

```
dydt(3)=-y(2)+tan(t);
```

Интеграллаш интервали ва бошланғич шартларни бериб, тенгламани ечамиз.

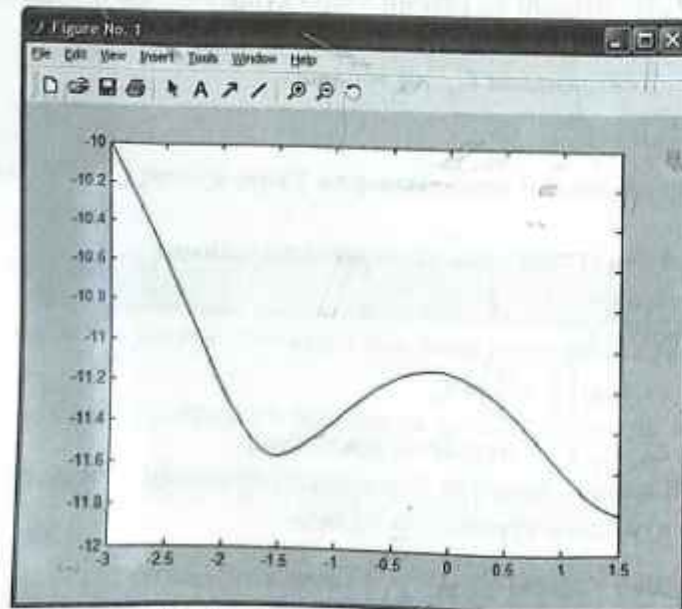
```
>> y0=[-10 -1 -1];
```

```
>> tspan=[-3 1.5];
```

```
>> [t,y]=ode45('dt14',tspan,y0);
```

```
>> plot(t,y(:,1))
```

```
>>
```



9.17-расм. $y'' + y' = \lg x$ тенглама ечимининг графиги.

3. Тенгламани бошланғич шартларга асосан аналитик кўринишда ечамиз

```
>> y=dsolve('D3y+Dy=tan(t)', 'D2y(0)=-10, Dy(0)=-1, y(0)=-1')
```

$$y = -10 - \log(\cos(t)) - \sin(t) \cdot \log\left(\frac{1+\sin(t)}{\cos(t)}\right) + 9 \cos(t) - \sin(t)$$

Ечимни Maple пакетига ўтказиб қулай кўринишга келтирамиз

$$y = -10 - \log(\cos(r)) - \sin(r) \log\left(\frac{1+\sin(r)}{\cos(r)}\right) + 9 \cos(r) - \sin(r)$$

9.4. Тенгламаларни ечишда inline-функциядан фойдаланиш

MATLAB тизимида функцияни inline-функция сифатида тақдим қилиш мумкин, масалан

$$f(x) = \frac{x^2}{2} - \frac{x^4}{4}$$

функцияни inline-функцияга айлантириш учун қуйидаги буйруқдан фойдаланамиз (9.18-расм):

```
>> f=inline('x.^2/2-x.^4/4')
```

f =

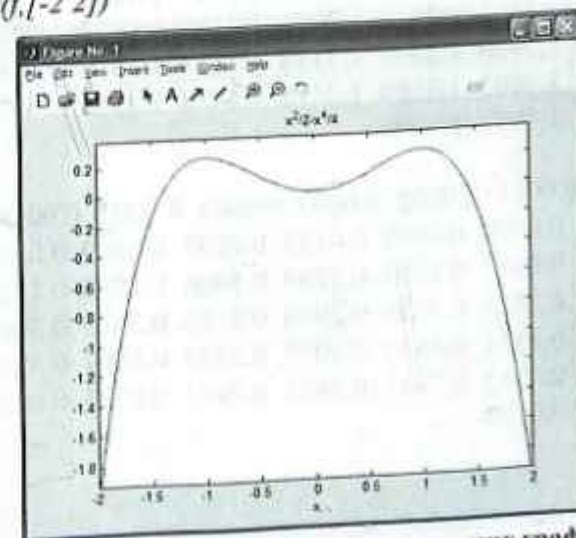
Inline function:

$$f(x) = x.^2/2 - x.^4/4$$

Аниқланган inline-функциядан MATLAB нинг бошқа функция-

лари каби фойдаланиш мумкин, масалан аниқланган $f(x) = \frac{x^2}{2} - \frac{x^4}{4}$ inline-функциянинг графигини қуйидагича курамиз:

```
>> ezplot(f,[-2 2])
```



9.18-расм. $f(x) = x.^2/2 - x.^4/4$ функциянинг графиги.

Бошланғич яқинлашиш сифатида $x^{(0)}=1$ ни олиб $f(x)$ функциянинг нолини ҳисоблаймиз

```
>> fzero(f,1)
```

```
ans=1.4142
```

MATLAB да inline-функция ҳосил қилингандан кейин фақат иш сеанси давомида сақланиб туради. Бу жиҳатдан у ҳосил қилингандан кейин доимо (кейинги иш сеансларида ҳам) сақланиб турувчи m-file функциядан фарқ қилади. Айниқса inline-функциялардан дифференциал тенгламаларнинг ўнг қисмини кўрсатишда фойдаланиш қулай.

Мисол.

$$y' = \frac{2}{x}y + x, \quad y(1) = 0, \quad x \in [1, 1.5]$$

Коши тенгласини ечинг.

Ечиш. Дифференциал тенгламаларнинг ўнг қисмини кўрсатиш учун inline-функциядан фойдаланамиз (9.19-расм):

```
>> fun2=inline('(2/t)*y+t')
```

```
fun2 =
```

```
Inline function:
```

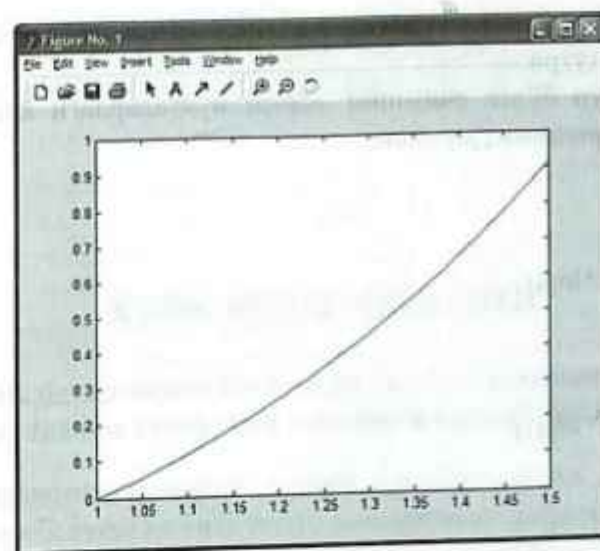
```
fun2(t,y)=(2/t)*y+t
```

```
>> [T,Y]=ode45(fun2,[1 1.5],[0],[])
```

```
T = 1.0000 1.0001 1.0001 1.0002 1.0002 1.0005 1.0007 1.0010 1.0012
1.0025 1.0037 1.0050 1.0062 1.0125 1.0188 1.0251 1.0313
1.0438 1.0563 1.0688 1.0813 1.0938 1.1063 1.1188 1.1313 1.1438
1.1563 1.1688 1.1813 1.1938 1.2063 1.2188 1.2313 1.2438 1.2563
1.2688 1.2813 1.2938 1.3063 1.3188 1.3313 1.3438 1.3563 1.3688
1.3813 1.3938 1.4063 1.4188 1.4313 1.4438 1.4563 1.4688 1.4813
1.4860 1.4907 1.4953 1.5000
```

```
Y = 0 0.0001 0.0001 0.0002 0.0002 0.0005 0.0007 0.0010 0.0012
0.0025 0.0037 0.0050 0.0063 0.0127 0.0193 0.0260 0.0328 0.0468
0.0612 0.0761 0.0915 0.1073 0.1237 0.1406 0.1580 0.1758 0.1942
0.2132 0.2326 0.2525 0.2730 0.2940 0.3155 0.3376 0.3602 0.3834
0.4070 0.4313 0.4561 0.4814 0.5073 0.5337 0.5607 0.5883 0.6164
0.6451 0.6744 0.7043 0.7347 0.7657 0.7973 0.8295 0.8623 0.8747
0.8871 0.8997 0.9123
```

```
>> plot(T,Y)
```



9.19-расм. $y' = 2y/x + x$ тенглама ечимининг графиги.

Олинган натижаларнинг тўғрилигини берилган тенгламани аналитик йўл билан ечиб текшириб кўрамиз (9.20-расм):

```
>> y=dsolve('Dy=2*y/t+t','y(1)=0')
```

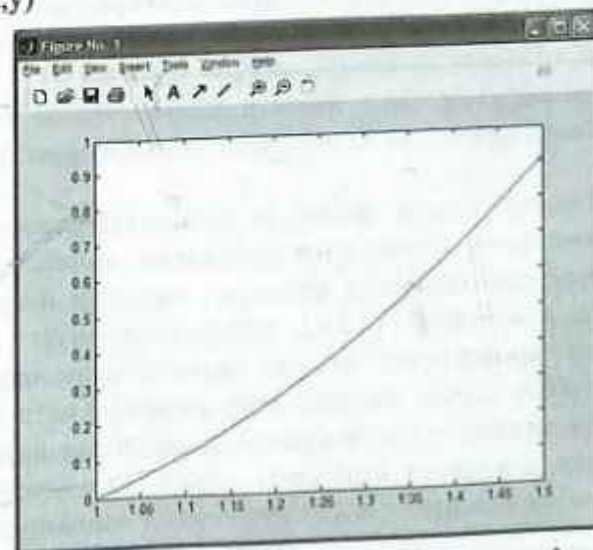
```
y =
```

```
t^2*log(t)
```

```
>> t=1:0.01:1.5;
```

```
>> y=t.^2.*log(t);
```

```
>> plot(t,y)
```



9.20-расм. $2y/t + t$ тенглама ечимининг графиги.

Олинган график 9.19-расмда кўрсатилган график билан бир хил, яъни натижа тўғри.

Агар зарур бўлса ечимнинг айрим нукталардаги қийматларини таққослаб кўришимиз мумкин:

```
>> t=1  
t=  
1  
>> y=t.^2.*log(t)  
y=  
0  
>> t=1.5;  
>> y=t.^2.*log(t)  
y=  
0.9123
```

Х БОБ. ҚУЁШ ЭЛЕМЕНТИ

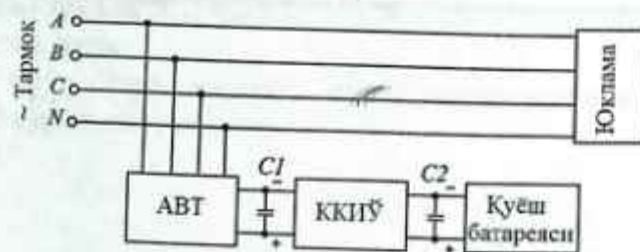
10.1. Қуёш батареясига эга бўлган электр таъминоти тизимида тўрт тактли кўтарувчи кенглик импульс ўзгарткичи

Характеристикаларининг табиий ёритилганликка боғлиқлигини ҳисобга олувчи қуёш элементининг математик моделини ишлаб чиқиш ва қуёш электр станцияси, кўтарувчи кенглик импульс ўзгарткичи ва актив юкламани ўз ичига олувчи локал электр таъминоти тизимининг MATLAB-моделини куришни кўриб чиқайлик.

Анъанавий энергетиканинг рад қилиб бўлмайдиган камчилиги анъанавий ёнилғи захираларининг камайиб бориши ва улар ёқилганда атроф-муҳитнинг ифлосланишидир. Шу сабабли кейинги ўн йилликларда энергетикани ривожлантиришга йўналтирилган альтернатив энергетик дастурлар пайдо бўлди.

Қуёш энергетикаси (ёки гелиоэнергетика) энергетиканинг экологик тоза тури сифатида жаҳон энергетика бозорини шиддат билан эгаллаб бормоқда. Локал объектларни таъминлаш учун мўлжалланган қуввати 0.1–10 kW бўлган кичик қувватли гелио қурилмалар билан бир қаторда, ҳозирги вақтда қуввати 1 MW ва ундан ортиқ бўлган саноат электр тармоқларига уланувчи қуёш электр станциялари пайдо бўлмоқда.

Қуёш электр станцияси ва саноат электр тармоқларининг бир-галикда ишлашини таъминлаш учун махсус ўзгарткич қурилмалари зарур. Бундай қурилма сифатида кўпчилик ҳолларда актив бошқарилувчи тўғрилагичлардан (АБТ) фойдаланилади. Уларнинг чиқиш характеристикалари электр энергиянинг сифати бўйича замонавий стандартларга мос бўлиши керак. АБТ тескари диодли IGBT транзисторларда бажарилган уч фазали кўприк схемаси бўйича бажарилган. Унинг киришига кўтарувчи кенглик-импульс ўзгармас кучланиш ўзгарткичи (ККИЎ) орқали қуёш батареясида кучланиш берилади (10.1-расм).



10.1-рasm. Актив бошқарилувчи түгрилағич ва кўтарувчи кенглик-импульс ўзгармас кучланиш ўзгарткичига эга бўлган қуёш электр станциясининг блок схемаси.

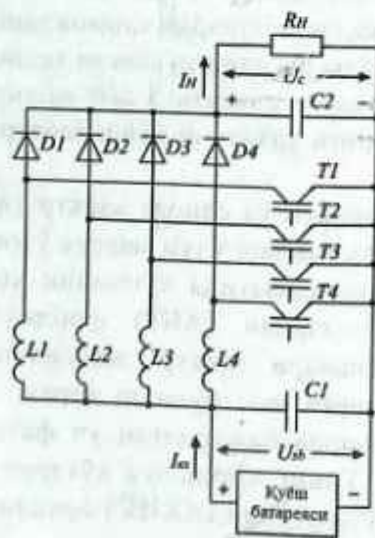
Қуёш батареясининг чиқишига кичик сифимли конденсатор $C1$ уланади. АВТ нинг киришига уланадиган $C2$ конденсатор таъминловчи тармоқ линия кучланишининг амплитуда кийматидан каттароқ кучланишга танланади:

$$U_c > kU_{am}, \quad (10.1)$$

бу ерда $k = 1,25 \div 1,5$.

Ўзгарткич барқарор ишлаши учун $C2 \gg C1$ бўлиши керак.

Қуввати 100 kW дан катта қуёш электр станцияларида кўтарувчи кенглик-импульс ўзгармас кучланиш ўзгарткичларидан фойдаланиш кетма-кет уланган қуёш элементларининг сонини камайтириш ва натижада қуёш электр станциясининг умумий фойдали иш коэффициентини орттириш имкониятини беради. Қуёш батареясининг чиқишига уланган ККИЎнинг схемаси 10.2-рasmда келтирилган.



10.2-рasm. Қуёш батареясининг чиқишига уланган ККИЎнинг схемаси

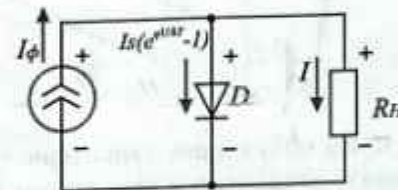
ККИЎнинг чиқишидаги кучланиш унинг киришидаги кучланишдан катта бўлади. Бунга индуктив элементларда энергиянинг тўпланиш жараёни ва энергияни чиқишдаги сифимга узатиш жараёнларини вақт бўйича бир-биридан ажратиб йўли билан эришилади.

Кўтарувчи ўзгарткич тўрт тактли қилиб бажарилган, яъни тўртта бир тактли кенглик – импульс ўзгарткичлари параллел улашиб вақт бўйича $T/4$ га тенг бўлган силжиш билан ишлайдилар, бу ерда T – кенглик – импульс модуляторининг даври.

10.2. Қуёш элементининг математик модели

Актив юккамага ишловчи қуёш элементининг (ҚЭ) эквивалент схемаси 10.3-рasmда келтирилган. Ички фотоэффект натижасида ҳосил бўладиган тоқларни кўриб чиқиб, қуёш батареясидан олинадиган максимал қувватни баҳолаш мумкин. [6]

Тўлқин узунлиги $\lambda = 0,2 - 2 \mu\text{m}$ бўлган нур таъсирида қуёш элементи нурланади ва унинг р-п ўтиши орқали тоқ юзага келади (10.3-рasm):



10.3-рasm. Қуёш элементининг эквивалент схемаси.

$$I = I_s \left(e^{\frac{qU}{kT}} - 1 \right) - I_\phi, \quad (10.2)$$

бу ерда, I_s – асосий бўлмаган ташувчиларнинг тоқи (тўйиниш тоқи); $I_\phi \exp(qU/(kT))$ – асосий ташувчиларнинг тоқи; I_ϕ – бирламчи фото-тоқ; q – электроннинг заряди, модуль бўйича; U – ўтишнинг түгри йўналишдаги силжиши; T – ҳарорат.

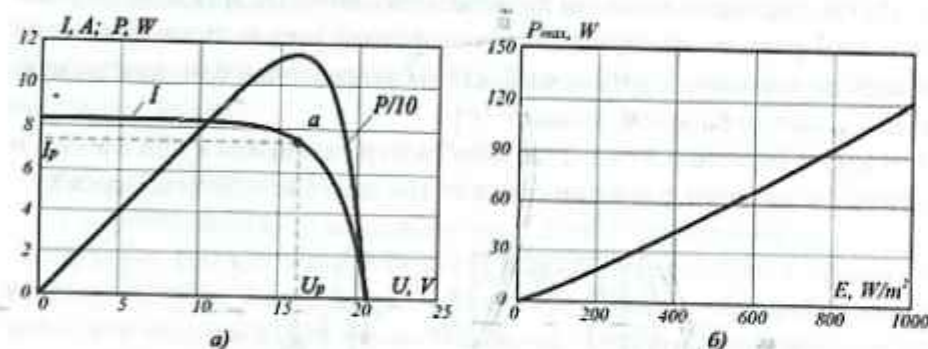
Идеал қуёш элементининг вольт-ампер характеристикаси (ВАХ) (10.2) боғланиш билан тавсифланади.

MCW серияли қуввати 120W ва кучланиши 12V бўлган қуёш модулининг вольт-ампер характеристикаси (I эгри чизик) ва қуёш элементининг ёритилганлиги $E = 1050 \text{ W/m}^2$ бўлгандаги юккамага сочиладиган қувватнинг кучланишга боғлиқлик графиги (P/I_0 -эгри чизик) 10.4-рasmда келтирилган. Расмдан кўришиб турибдики, қуёш элементида олинадиган максимал қувват ВАХ нинг а нуқтасига

($T_p=7.06$ A; $U_p=17$ V) тўғри келади. Агар бошқариш тизимининг алгоритми ишчи нукта доимо ВАХнинг а нуктасига тўғри келадиган қилиб тузилса, ККИЎнинг чиқишидаги кучланиш фақат иккита параметрга – бирламчи фототок ва юклама қаршилигига боғлиқ бўлади. Фототок (I_p) эса, ўз навбатида, қуёш элементининг ёритилганлигига (E) боғлиқ

$$I_p = \frac{E}{\alpha}, \quad (10.3)$$

бу ерда, α – қуёш элементининг турига боғлиқ бўлган пропорционаллик коэффициент.



10.4-расм. Қуёш модулининг характеристикалари (а – ВАХ, б – юкламада сочиладиган қувватнинг ёритилганликка боғлиқлиги).

Қуёш элементидан олинладиган максимал қувватни 10.4-расм ва (10.2), (10.3) ифодаларга мувофиқ ҳолда $P(U)$ функцияни максимумга тадқиқ қилиш йўли билан аниқлаш мумкин:

$$\frac{dP}{dU} = I_p \left(e^{\frac{qU_p}{kT}} \cdot \left(\frac{qU_p}{kT} + 1 \right) - 1 \right) - \frac{E}{\alpha} = 0 \quad (10.4)$$

бу ерда, U_p – модулниң чиқиш қуввати максимал қийматга эришадиган ишчи кучланиш.

Қуёш батареясидан олинладиган максимал қувват ва ёритилганлик орасидаги боғланишни олиш учун (10.4) ифодадан U_p ни аниқлаймиз ва (10.2) ифодага қўямиз.

MCW12060-12 қуёш модули учун олинладиган максимал қувват ва ёритилганлик орасидаги боғланиш 10.4,б расмда келтирилган.

10.3. Ясси қуёш коллекторининг оптимал қиялигини аниқлаш

Қуёш радиациясининг интенсивлиги қуйидаги формулага [1] асосан ҳисобланади.

$$S = (H_b R_b + H_d) \cdot (\tau \alpha), \quad (10.5)$$

бу, ерда H_b , H_d – қуёш радиациясининг горизонтал юзага тушаётган тўғри ва тарқалган ташкил этувчилари, $W \cdot s/m^2$;

$(\tau \alpha)$ – келтирилган ютиш (сингдириш) хусусияти

$$(\tau \alpha) = \frac{\tau \alpha}{1 - (1 - \alpha) \rho_d}, \quad (10.6)$$

ρ_d – диффуз қайтариш хусусияти. Бир, икки, уч ва тўрт қават ойна билан қопланган тизимлар учун ρ_d нинг тақрибий қийматлари мос равишда 0,16, 0,24, 0,29, 0,32 га тенг;

α – сингдирувчи пластинаниң йўналтирилган сингдириш хусусияти

$$\alpha = 0,94 \div 0,95;$$

τ – ўтказиш хусусияти

$$\tau = \tau_r \tau_a \quad (10.7)$$

τ_r – ютилишни ҳисобга олмаган ҳолдаги ўтказиш хусусияти

Битта қоплама учун

$$\tau_r = \frac{1 - \rho}{1 + \rho} \quad (10.8)$$

$$\rho = \frac{1}{2} \left[\frac{\sin^2(\theta_2 - \theta_1)}{\sin^2(\theta_2 + \theta_1)} + \frac{\tan^2(\theta_2 - \theta_1)}{\tan^2(\theta_2 + \theta_1)} \right] \quad (10.9)$$

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1} \quad (10.10)$$

бу ерда, n_1 , n_2 – синдириш кўрсаткичлари;
 θ_1 , θ_2 – тушиш ва синиш (йўналишини ўзгартириш) бурчаклари (10.5-расм).

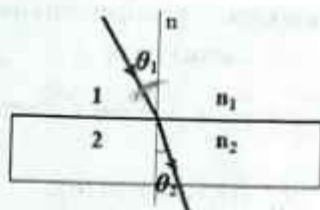
Агар 1 мухит ҳаво бўлса $n_1 = 1$ олинади, шишаниң синдириш кўрсаткичи $n_2 = 1,526$.

τ_a – фақат сингдиришни ҳисобга олувчи ўтказиш хусусияти;

$$\tau_a = e^{-KL} \quad (10.11)$$

бу ерда, L – шишаниң қалинлиги, см;

K – шишаниң кучсизлантириш коэффициенти, $см^{-1}$.



10.5-расм. Икки мухит чегарасида нурунинг синиши.

Шишанинг кучсизлантириш коэффициенти – K нинг қиймати юкори шаффоф (рангсиз) шиша учун $\sim 0,04 \text{ см}^{-1}$ дан сифати паст (яшил) шиша учун $\sim 0,32 \text{ см}^{-1}$ гача бўлади. Одатдаги ойна шишаси учун $L = 0,32 \text{ см}$, $K = 0,161 \text{ см}^{-1}$.

Мос равишда $\alpha = 0,94$, $\rho_d = 0,16$ (бир қаватли қоплама учун), $\tau_s = 0,9498$ қийматларни (10.7) ва (10.62) ифодаларга қўйиб, келтирилган сингдириш хусусияти учун қуйидаги тенгламага эга бўламиз

$$(\tau_a) = 0,9014 \frac{1-\rho}{1+\rho} \quad (10.12)$$

(1) ифодадаги R_b катталиқ қуйидаги нисбатдан аниқланади:

$$R_s = \frac{\cos \theta_1}{\cos \theta_2} = \frac{\cos(\varphi - \beta) \cos \delta \cos \omega + \sin(\varphi - \omega) \sin \delta}{\cos \varphi \cos \delta \cos \omega + \sin \varphi \sin \delta}, \quad (10.13)$$

бу ерда θ_1 , θ_2 – қия ва горизонтал юзалар учун тушиш бурчаклари;



10.6-расм. Қия ва горизонтал юзалар учун қуёш нурунинг тушиш бурчаклари.

φ – жойнинг кенлиги (Фарғона учун $\varphi = 40,4^\circ$);

β – қўрилатган текислик ва горизонтал юза (коллекторнинг қиялиги) орасидаги бурчак;

δ – оғиш (қуёшнинг бурчак ҳолати);

$$\delta = 23,45^\circ \sin \left(360 \frac{284 + n}{365} \right) \quad (10.14)$$

n – йил кунининг тартиб рақами;

ω – соатга мос келувчи бурчак;

$$\omega = 180^\circ - 15^\circ \tau \quad (10.15)$$

τ – сутканинг соатлардаги вақти.

Шундай қилиб, қуёш радиациясининг интенсивлиги (10.5) формуладан (10.9), (10.10), (10.12) – (10.15) боғланишларни ҳисобга олган ҳолда аниқланади. У йил вақтининг n , сутка вақтининг τ ва қуёш коллекторининг қиялик бурчаги β ларнинг функциясидир

$$S = S(n, \tau, \beta)$$

Қуёш коллектори қиялик бурчаги β нинг оптимал қийматини ҳисоблашда иссиқ сув таъминоти тизимидан фойдаланиш (йил бўйича апрель-октябрь ойлари ва сутка давомида соат 6 дан 19 гача) давридаги қуёш радиацияси интенсивлигининг ўртачалаштирилган қийматлари олинади.

$$S_{\text{ср}}(\beta) = \frac{1}{7 \cdot 14} \sum_{i=1}^7 \sum_{k=1}^{14} S(i, k, \beta) \quad (10.16)$$

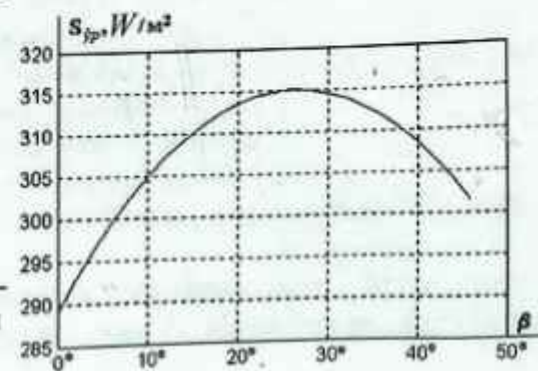
бу ерда, i – йил ойлари (апрель - октябрь); k – сутка вақтлари (соат 6 дан 19 гача).

Горизонтал юзага тўғри келадиган қуёш радиациясининг тўғри H_b ва сочилган H_d ташкил этувчилари Фарғона шаҳри шаронти учун (шимолий кенглик $\varphi = 40,4^\circ$) метеорологик маълумотлар асосида аниқланади.

Фарғона шаҳри учун булутли шароитлар ҳам ҳисобга олингандаги горизонтал юзага тўғри келувчи йил ойлари бўйича умумий (тўғри ва сочилган) қуёш радиацияси, MJ/m^2

Йил ойлари	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Қуёш радиацияси, MJ/m^2 , $H_b + H_d$	193	266	387	517	706	792	808	739	578	383	228	151

Коллекторнинг қиялик бурчаги β га боғлиқ ҳолда қуёш радиациясининг интенсивлигининг ўртача қийматларини (10.16) ҳисоблаш натижалари 10.7-расмда келтирилган.



10.7-расм. Коллекторнинг қиялик бурчаги β ва қуёш радиациясининг интенсивлиги орасидаги боғланиш $S_{\text{сп}}(\beta)$.

$S_{\beta}(\beta)$ функция куйидаги боғланиш билан ифодаланади

$$S = \exp((a+cx+ex^2)/(1+bx+dx^2+fx^3)),$$

ва унинг ёрдамида fminbnd функциядан фойдаланиб, ўртача қуёш инсоляцияси энг катта бўладиган қуёш коллектори қиялик бурчагининг қиймати β топилади.

Аввал m – файлни ҳосил қиламиз:

қуёш коллектори қиялик бурчагини ҳисоблаш

Натижавий инсоляция

function S=maxins(x)

a=5.6667347;b=0.0018194204;c=0.017329411;

d=-0.00014610493;e=-0.0009964058;f=-1.3104374e-07;

m=a+c*x+e*x.^2;

n=1+b*x+d*x.^2+f*x.^3;

S=exp(n/m);

%x – файл сақлангандан кейин қиялик бурчагини ҳисоблаймиз:

» x=fminbnd('maxins',0,48)

x =

27.5103

Қуёш коллекторлари қабул қилувчи пластиналарининг $\beta = 27,5^\circ$ қиялик бурчагида, иссиқ сув таъминоти тизимидан фойдаланиш (йил бўйича апрель-октябрь ойлари ва сутка давомида соат 6 дан 19 гача) даври давомида қуёш радиацияси интенсивлигининг умумий қиймати энг катта бўлади.

XI БОБ. MATLAB+SIMULINK ТИЗИМИНИНГ SIMSCAPE МОДЕЛЛАШ ПАКЕТИ

11.1. Simscape пакети

Simscape пакети механик, гидравлик, электр ва электрон қурилмаларни моделлаш учун мўлжалланган. Simscape пакетидида ишлатиладиган моделлар ўзининг характеристика ва хоссалари бўйича физик моделларга максимал даражада яқинлаштирилган. Пакетнинг Simscape 3.0 (MATLAB R2008b) версияси блокларининг библиотекаси (кутубхонаси), Foundation Library бўлимига ва куйидаги мустақил кенгайтириш пакетларига эга:

- SimDriveline – чизикли юритмалар;
- SimElectronics – электроника;
- SimHydraulics – гидравлика;
- SimMechanics – механика.

Foundation Library бўлими ўз навбатида, куйидаги ост бўлимларни

ўз ичига олади:

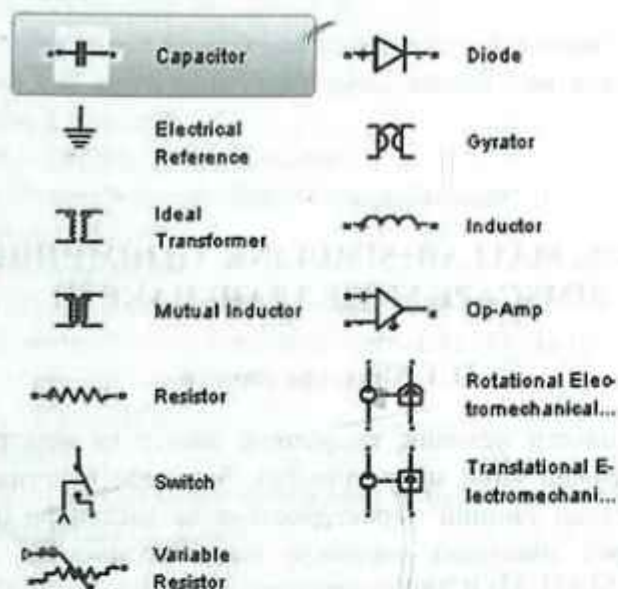
- Electrical – электр занжир ва қурилмаларнинг блоклари;
- Hydraulic – гидравлик қурилмаларнинг блоклари;
- Mechanical – механик қурилмаларнинг блоклари;
- Physical Signals – физик сигналларнинг блоклари;
- Thermal – термик қурилмаларнинг блоклари.

Electrical ост бўлими ўз навбатида куйидаги ост бўлимларга эга:

- Electrical Elements – электр элементлар;
- Electrical Sensors – сезгир электр элементлар;
- Electrical Sources – электр энергия манбалари.

Electrical Elements ост бўлими блокларининг таркиби 11.1-расмда келтирилган.

Simscape блокларини Simulink блокларига улаш учун Utilities ост бўлимининг таркибига кирувчи махсус конверторлар блокларидан фойдаланиш керак.



11.1-расм. Electrical Elements оғт бўлими блокларининг таркиби.

Simscape пакетидаги асосий электр ва радиокомпонентларнинг моделларини кўриб чиқайлик. Резистор R , конденсатор C ва индуктивлик L куйидаги ифодаларга кирувчи параметрлар сифатида аниқланади:

$$U = R \cdot I, i = C \frac{du}{dt}, u = L \frac{di}{dt}.$$

Трансформация коэффициенти N бўлган идеал соф трансформаторнинг модели куйидаги ўзгарувчан кучланиш ва тоқлар учун тенгламалар асосида ҳосил қилинган:

$$U_1 = NU_2 \text{ ва } I_2 = NI_1$$

Трансформаторнинг индуктивликлар ҳисобга олинган модели куйидаги тенгламалар билан тавсифланади:

$$U_1 = L_1 \frac{dI_1}{dt} + M \frac{dI_2}{dt}, U_2 = L_2 \frac{dI_2}{dt} + M \frac{dI_1}{dt}$$

бу ерда, L_1 ва L_2 – трансформатор бирламчи ва иккиламчи чулғамларининг индуктивликлари, M – ўзаро индуктивлик.

Соф гиратор – куйидаги тенгламалар билан тавсифланувчи курилади:

$$I_1 = GU_2, I_2 = GU_1$$

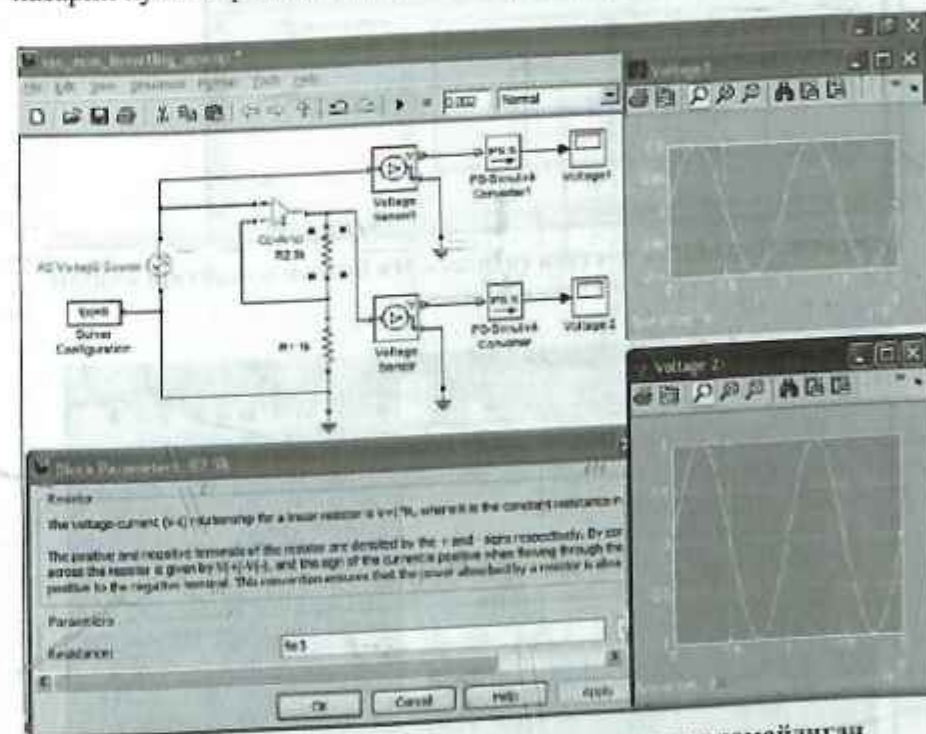
Идеал операцион кучайтиргич – кучайтириш коэффициенти чексиз бўлган ва унда нозикли хамда частотавий бузилишлар бўлмайдиган кучайтиргичдир.

Simscape пакетида диоднинг модели идеаллаштирилган ва унинг куйидаги кўринишдаги соддалаштирилган вольт-ампер характери-касига (BAX) мос келади:

$$U = U_f (1 - R_{on} G_{off}),$$

бу ерда, U_f – тўғри йўналишдаги кучланиш, R_{on} – тўғри йўналишдаги дифференциал каршилик, G_{off} – тескари ўтказувчанлик.

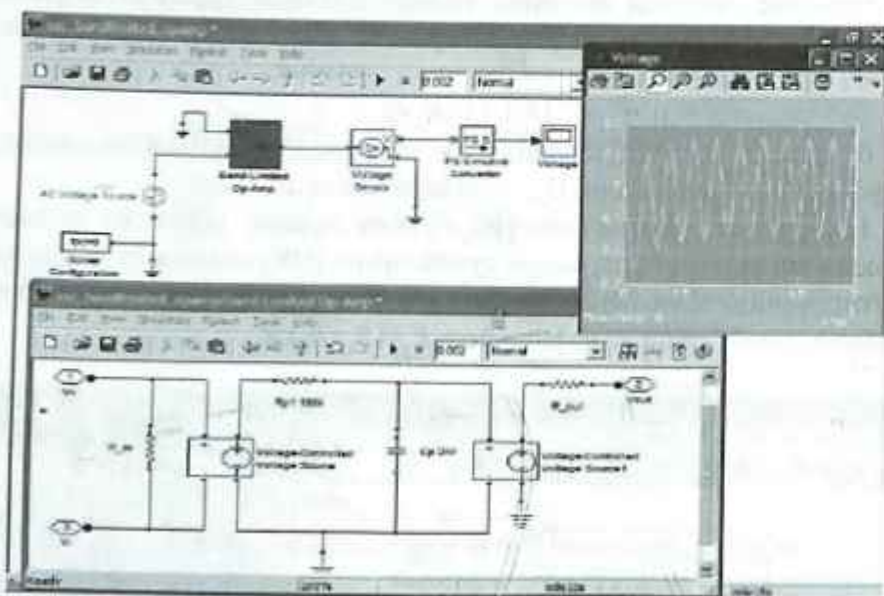
11.2-расмда R_1, R_2 резистив бўлгич орқали кетма-кет тескари алоқага эга ва идеал операцион кучайтиргич (ОК) асосида тузилган кучайтиргичнинг моделлаш диаграммаси кўрсатилган. Кучайтиргичнинг назарий кучайтириш коэффициенти $K_0 = (R_1 + R_2)/R_1$.



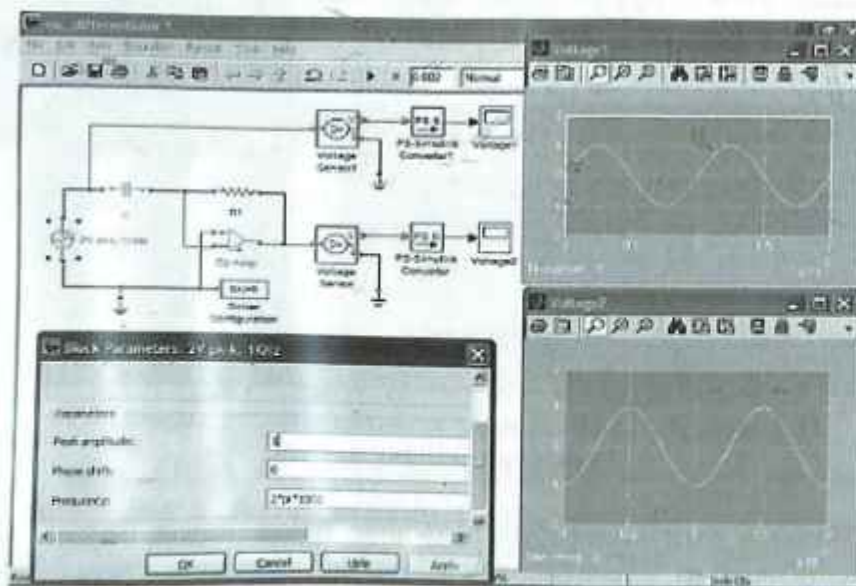
11.2-расм. Идеал ОК асосида тузилган инвертирламайдиган кучайтиргичнинг модели.

Моделда ечгич конфигурациясининг блоки Solver Configuration бўлиши зарур ва у диаграмманинг умумий шинасига уланади. Диаграммада резисторлар, ОК, кучланиш манбаси ва сенсорлар Simscape пакетида олинган, виртуал осциллографлар эса Simulink пакети-

га карашли. Сенсорларнинг чиқишига осциллографни улаш учун (бошқачасига айтганда Simscape блокларини Simulink блокларига улаш учун), сигналлар конверторидан фойдаланилади.



11.3-расм. Чекланган частота соҳасига эга бўлган кучайтиргичнинг диаграммаси.



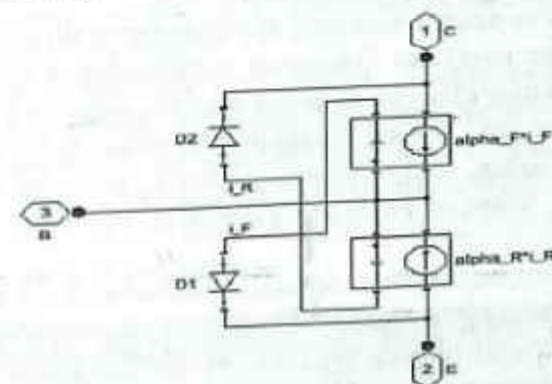
11.4-расм. Идеал ОК асосида тузилган дифференциалловчи қурилманинг диаграммаси.

Реал кучайтиргичнинг кучайтириш коэффициентини юқори частоталарда пасайишга эга. Уларни моделлаш учун 11.3-расмда интегралловчи RC занжирдан фойдаланилган.

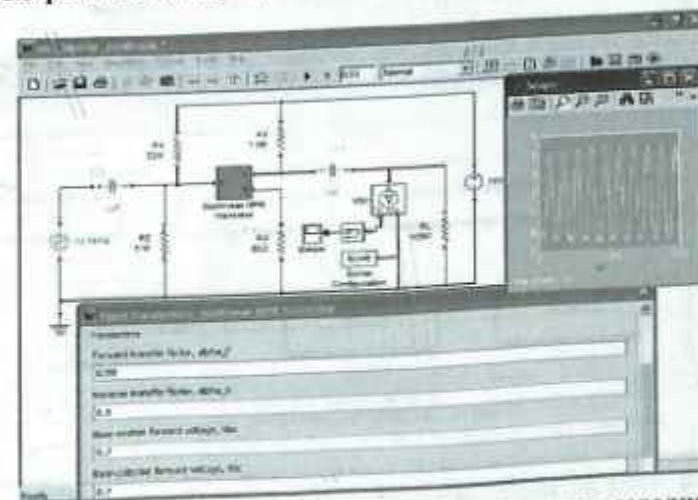
Идеал ОК асосида тузилган дифференциалловчи қурилма моделининг диаграммаси 11.4-расмда келтирилган. Моделнинг чиқишидаги кучланиш

$$u_{chiq}(t) = RC \frac{du_{kir}}{dt}.$$

Simscape пакетида биполяр транзисторларнинг чизикли ва нончизикли моделлари мавжуд. Транзисторнинг нончизикли модели 11.5-расмда кўрсатилган. Унда эмиттер ва коллектор ўтишларни моделлаш учун диодлар ишлатилган.



11.5-расм. Биполяр транзисторнинг нончизикли ост модели.



11.6-расм. Нончизикли бир каскадлы кучайтиргич моделининг диаграммаси.

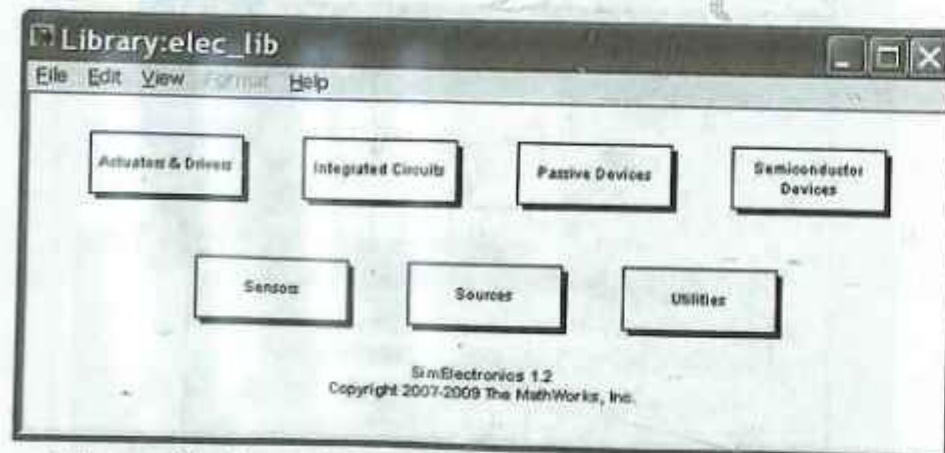
Ночизикли бир каскадли кучайтиргич моделининг диаграммаси 11.6-расмда келтирилган ва унда 11.5-расмда кўрсатилган биполяр транзисторнинг ночизикли ост моделидан фойдаланилган. Осциллограммада чиқиш сигнаlining сезиларли даражада бузилганлигини кўришимиз мумкин.

11.2. Электрон схемаларни моделлаш пакети SimElectronics

Айрим электрон қурилмаларни PowerElectronics ва Simscape пакетлари ёрдамида моделлаш мумкин бўлса-да, уларда электрон компонентлар етишмаслиги сабабли кўплаб асбобларнинг хусусий ост моделларини яратишга тўғри келади. Бундан ташқари, Simscape пакетига моделлар ҳаддан ташқари идеаллаштирилган.

SimElectronics пакети электрон қурилмаларни моделлаш учун қиритилган махсус пакетдир. Электрон қурилмаларни қулай ва яққол моделлаш учун пакет пассив ва актив компонентларни ўз ичига олувчи библиотекага эга. Библиотеканинг таркибида хусусан резисторлар, конденсаторлар, индуктивлик, диодлар, биполяр ва майдонли транзисторлар, чизикли интеграл схемалар, мантикий схемалар ва х.к. мавжуд.

SimElectronics пакети блокларининг библиотекасига Simulink библиотекалари орқали ёки командалар ойнасида elec_lib командасини бажариш йўли билан кириш мумкин. Командалар ойнасида elec_lib командаси бажарилганда экранда SimElectronics пакети блоклари библиотекасининг асосий ойнаси (11.7-расм) ҳосил бўлади.

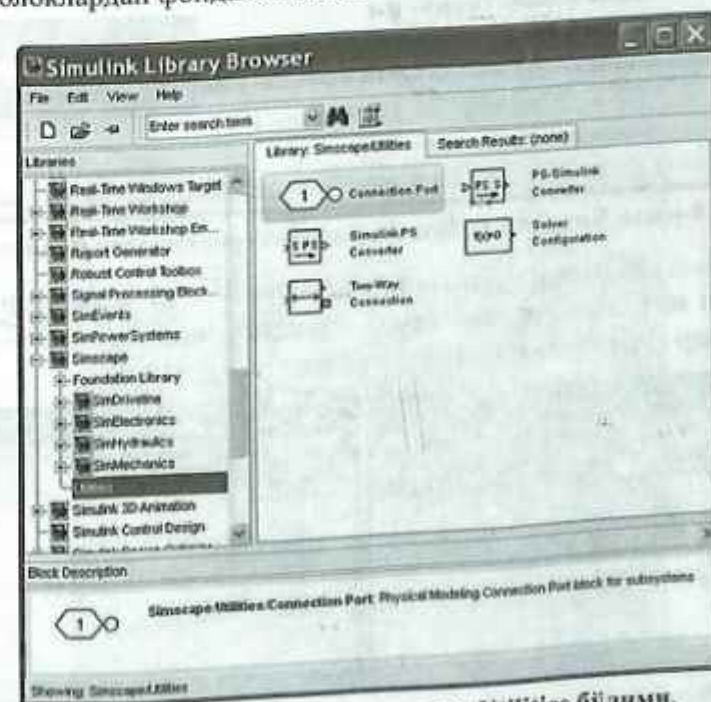


11.7-расм. SimElectronics пакети блоклари библиотекасининг асосий ойнаси.

SimElectronics пакети блоклари библиотекасининг асосий ойнаси орқали қуйидаги библиотеканинг қуйидаги бўлимларига кириш мумкин:

- Actuators & Drivers – электр моторлар ва двигателлар блоклари;
 - Integrated Circuits – интеграл операцион кучайтиргичлар ва мантикий схемалар блоклари;
 - Passive Devices – пассив компонентлар блоклари;
 - Semiconductor Devices – ярим ўтказгичли асбоблар блоклари;
 - Sensors – сенсор қурилмалар блоклари;
 - Sources – сигналлар ва электр энергия манбалари блоклари;
 - Utilities – утилитар блоклари.
- Библиотеканинг Actuators & Drivers бўлимида электр двигателларнинг моделлари, улар учун драйверлар ҳамда кенглик-импульс модуляцияси контроллери мавжуд.

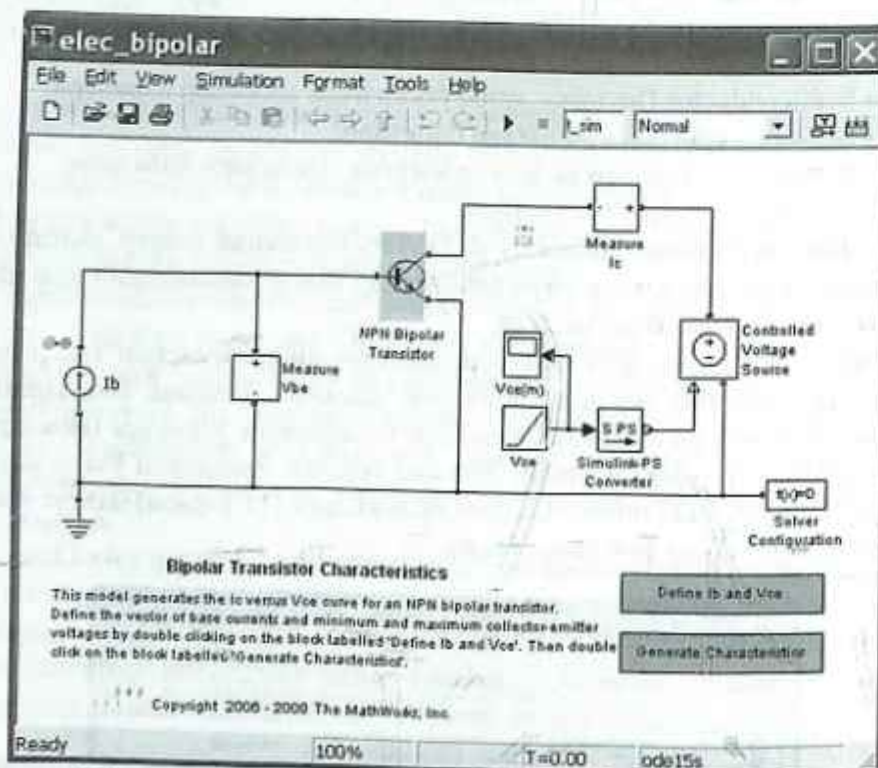
Моделланаётган электрон қурилманинг диаграммасини тайёрлаш вақтида фақат бир турдаги блокларни, масалан, Simulink блокларини Simulink блоклари билан ёки Simscape блокларини Simscape блоклари билан бевосита улаш мумкин. Ҳар хил турдаги блокларни ўзаро улаш учун Simscape пакетининг Utilities бўлимидаги (11.8-расм) махсус конвертор блоклардан фойдаланилади.



11.8-расм. Simscape пакетининг Utilities бўлими.

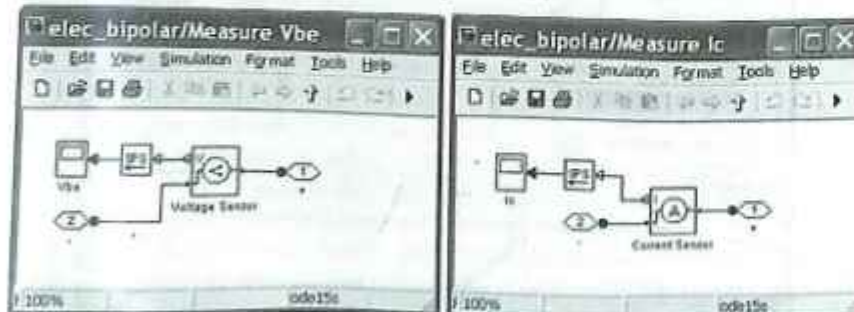
11.3. Биполяр транзисторнинг характеристикаларини олиш

Ушбу модель (11.9-расм) ёрдамида NPN биполяр транзистор характеристикаларидан бири, хусусан коллектор токи I_c ва коллектор – эмиттер кучланиши V_{ce} орасидаги боғланиш ҳосил қилинади.



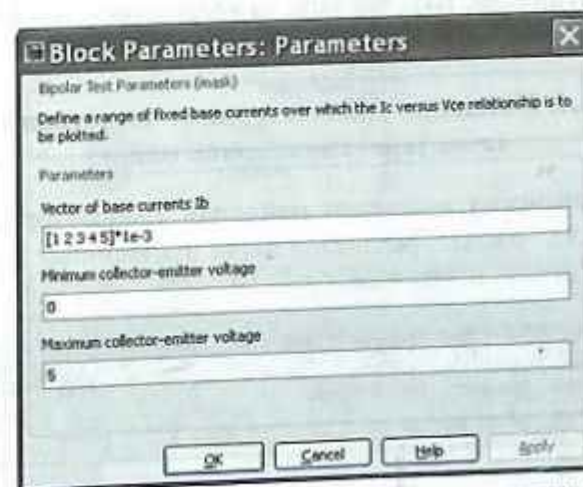
11.9-расм. Биполяр транзистор характеристикасини олиш.

Моделда коллектор – эмиттер кучланиши V_{ce} ва коллектор токи I_c кучланиш ва ток сенсорлари ҳамда конверторлардан тузилган махсус ост блоклар (11.10-расм) ёрдамида ўлчанади.



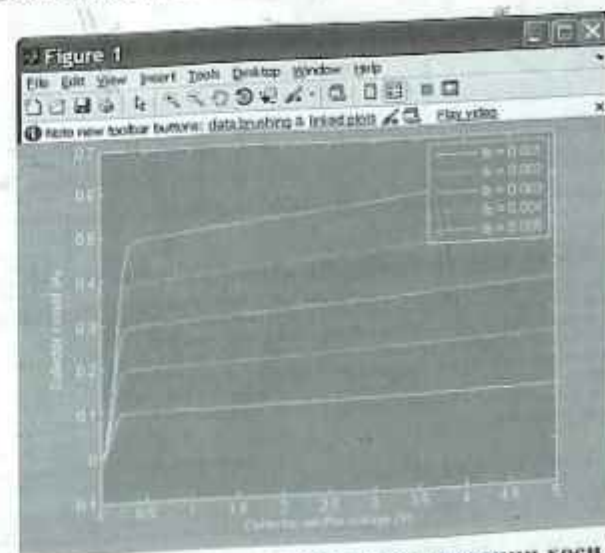
11.10-расм. Эмиттер кучланиши ва коллектор токини ўлчаш.

База тоқларининг вектори ва коллектор-эмиттер кучланишининг минимал ва максимал қийматларини бериш учун 'Define Ib and Vce' номли блок икки марта босилади ва зарур қийматлар киритилади (11.11-расм).



11.11-расм. База тоқларининг вектори ва коллектор-эмиттер кучланишининг минимал ва максимал қийматларини бериш.

Кейинги характеристикани ҳосил қилиш учун 'Generate Characteristics' номли блок икки марта босилади, натижада транзисторнинг характеристикаси ҳосил қилинади (11.12-расм).



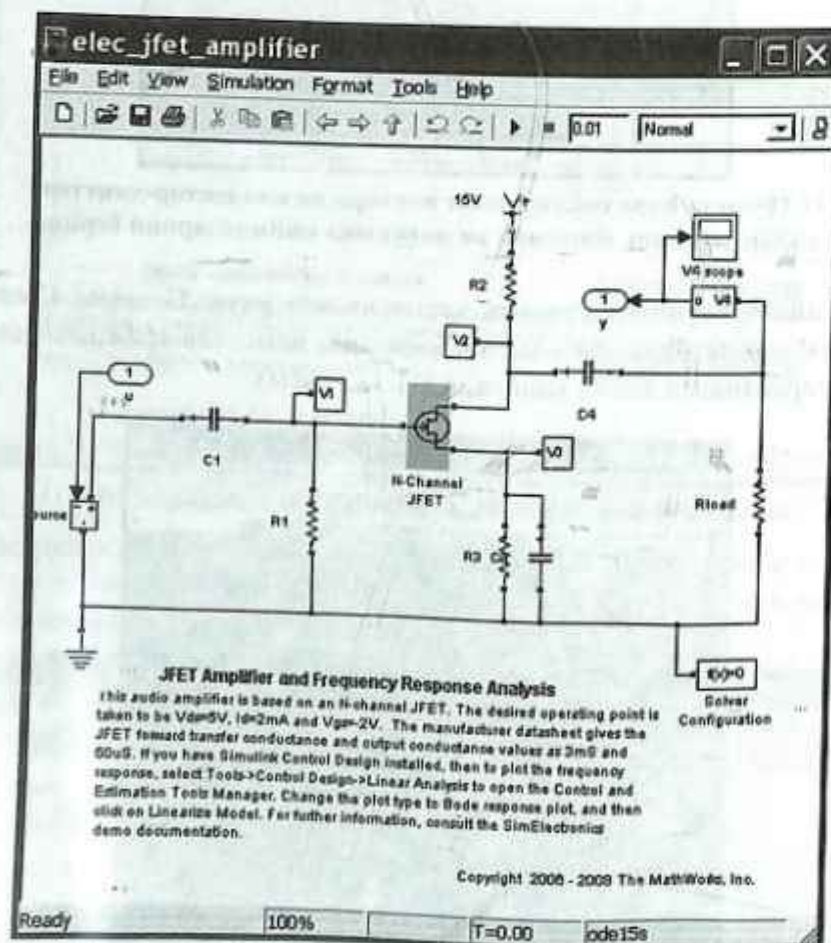
11.12-расм. Транзисторнинг характеристикасини ҳосил қилиш.

Олинган характеристикалар ишлаб чиқарувчи берган характеристикалар билан таққосланиши мумкин.

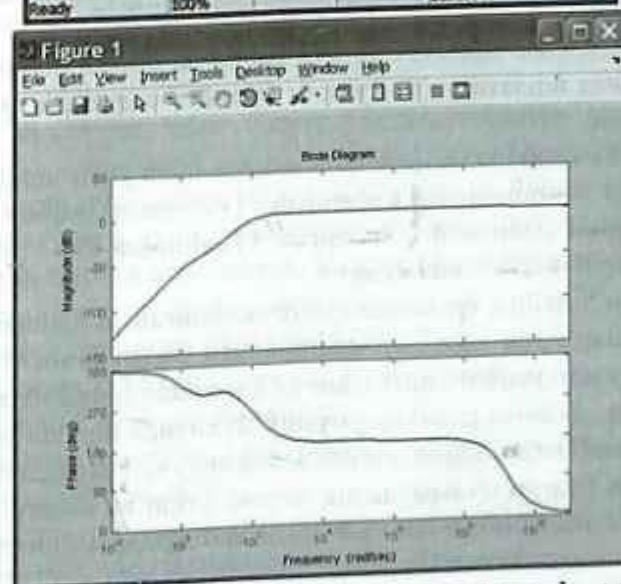
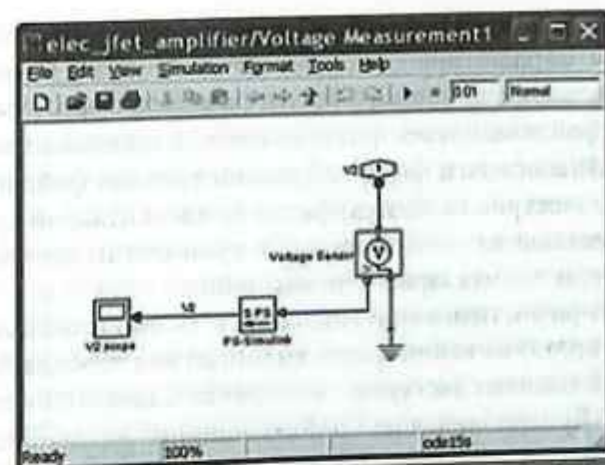
Биполяр pnp транзисторнинг характеристикасини олиш учун библиотекадан pnp транзисторнинг нухаси олинади ва у pnp транзисторнинг ўрнига қўйилади. База токлари ва коллектор – эмиттор кучланишининг кийматлари манфийга алмаштирилади.

11.4. Майдонли транзисторнинг частотавий характеристикаларини олиш

Ушбу кучайтиргич n-каналли майдонли транзистор асосида моделланган (11.13 –расм). Транзистор ишчи нуктасининг параметрлари қуйидагича: $V_{ds}=5V$, $I_d=2mA$ ва $V_{gs}=-2V$.



11.13-расм. Майдонли транзистор асосида моделлаш.



11.14-расм. Майдонли транзисторнинг амплитуда ва фаза частотавий характеристикалари.

R_3 резисторга тўғри келадиган кучланиш пасайиши $-V_{gs}=2V$ бўлганлиги сабабли $R_3=-V_{gs}/I_d=2/2e-3=10M$.

11.5 Физик моделлаш

Лойиҳани мукаммаллаштириш учун мутахассис дастурий таъминот ва физик тизимни параллел равишда яратиши керак. Ушбу вазифани муваффақиятли ҳал қилишда MathWorks маҳсулотларидан бири ҳисобланган физик моделлаш воситаларидан фойдаланиш мумкин. У қуйидаги имкониятларга эга:

– бир неча физик компонентлар ва автоматик бошқариш тизимини ягона мухитга бирлаштириб, моделни тизимли тарзда йиғиш;

– кириш ва чиқишдан ташқари бошқа физик портларга ҳам эга бўлган, кўплаб марта фойдаланилувчи физик тизимнинг моделини яратиш;

– MATLAB асосидаги физик моделлаш тилидан фойдаланиб махсус (механик, электрик ва бошқа) физик компонентларни яратиш;

– 3D-визуаллаш ва симуляциянинг кўшимча имкониятларига эга бўлган аналитик воситаларни кенгайтириш.

Яратилган физик тизимнинг моделини C тилининг кодига конверсиялаш (айлантириш) ва кейин ҳосил қилинган код асосида бошқа масалаларни ечиш, масалан дастурий – аппаратли моделлашни амалга ошириш мумкин. Бундай моделлаш лойиҳалашнинг ҳамма босқичларини ўз ичига олади.

Физик моделлаш лойиҳачига кўп марта ва бошқа инженерлар билан биргаликда ишлатилиши мумкин бўлган моделларни яратиш имконини беради.

MathWorks компаниясининг физик моделлаш учун ишлатиладиган махсулотлари компонентлар библиотека (кутубхона)ларига эга. Ушбу компонентларни лойиҳачи бошланғич кўринишда ёки ўз эҳтиёжи учун ўзгартириб ишлатиши мумкин.

Моделлар Simulink ёрдамида синтез қилинган ва Stateflow ёрдамида амалга оширилган ҳолатлар машиналари билан бевосита уланиши мумкин. Регуляторларни синтезлаш ва созлашда Simulink воситалари ёрдам беради. Лойиҳалашнинг умумий мухитида ишлаш мехатрон ва бошқа мураккаб тизимларни лойиҳаловчилар учун параллел моделлаш билан боғлиқ бўлган муаммоларни четлаб ўтиш ва интеграция муаммоларини лойиҳалашнинг дастлабки босқичларидаёқ аниқлаш ва бар-тараф қилиш имкониятини беради.

MathWorks компаниясининг физик моделлаш учун махсулотлари кўплаб компонентлар учун батафсил ва соддалаштирилган моделларга эга. Улар ёрдамида фойдаланувчи Simscape тилидан фойдаланган ҳолда компонентларнинг ўз хусусий моделларини яратиши мумкин. System Identification Toolbox™ соддалаштирилган моделларни яратиш имконини беради. Уларни ҳисоблаш сезиларли даражада тез амалга ошади.

Модел устида бажариладиган деярли ҳар бир амал MATLAB тилида ёзилган скриптлар воситасида автоматлаштирилиши мумкин. Масалан, скрипт ёрдамида моделнинг ҳар хил вариантларини танлаш, параметрларнинг қийматларини ўзгартириш, сонли усулни танлаш, моделлашни бажариш мумкин.

MATLAB мухитида моделлаш натижаларини таҳлил қилиш ва графикларни қуриш имконияти мавжуд. Simulink Report Generator воситаси автоматик тарзда моделлашни бажариш ва ҳисоботни ҳосил қилишга ёрдам беради. SimPowerSystems мавжуд воситаларни юклама оқимларининг анализатори ва тез Фурье ўзгартиришлари воситаси билан тўлдиради. Ушбу воситалар электр энергетика тизимарини моделлаш натижаларини изоҳлашда кўл келади. Таҳлилни автоматлаштириш лойиҳалаш жараёнини кескин тезлаштиради ва биринчи ишлайдиган вариантнинг ўрнига энг яхши вариантни танлаш имконини беради.

Физик моделдан C кодни ҳосил қилиш имконияти борлиги сабабли лойиҳачи прототипдан фойдаланмасдан, факат дастурий – аппаратли моделлаш асосида контроллерни тестдан ўтказиши мумкин.

Real-Time Workshop ёрдамида модель автоном иловага айлантирилиб бошқа, MATLAB ўрнатилмаган компьютерларда ҳам моделлаш учун ишлатилиши мумкин.

Физик моделлаш асли билан ўхшаш табиатга эга бўлган ва ўрганилаётган ҳодисанинг хусусиятларини ўзида етарли даражада тўла акс эттирадиган моделларда моделлаш усулидир. Физик моделлаш физик ўхшашликларга, яъни геометрик ўхшашлик, тезлик, куч, мухит ва ҳ.к. ўхшашликларига асосланади. Ўхшашлик назарияси физик моделлашнинг илмий асоси ҳисобланади.

Физик моделлашнинг афзалликлари:

– жараёнинг аслидай тўлиқ акс эттирилиши;

– жараёнинг аниқ-равшанлиги;

– кузатиш натижаларини ўзгарткич қурилмаларидан фойдаланмасдан ёзиб олиш мумкинлиги;

– математик тавсифини тузиш жуда мураккаб бўлган ҳодисаларни ҳам ўрганиш имконияти мавжудлиги.

Физик моделлашнинг камчиликлари:

– ҳар бир янги жараёни тадқиқ қилиш учун янги модель тузиш зарурлиги;

– оригинал параметрларининг ўзгартириш учун кўпчилик ҳолларда моделни қайта созлаш ёки тўлиқ алмаштириш зарур бўлади;

– мураккаб объектларнинг моделларини тайёрлаш нархи жуда катта;

– айрим ҳолларда физик моделлар чекланишларга эга ёки уларни кўллаб бўлмайди.

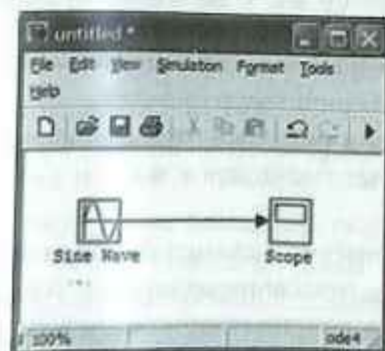
Сўнгги камчиликка мисол қилиб кимёвий реакциялар борадиган тизимларни кўрсатиш мумкин. Уларда натижа аппаратларнинг геометрик ўлчамлари ва жараёнинг кинематик қонуниятлари орасидаги мураккаб боғланишлар асосида юзага келади.

ХII БОБ. SIMULINK МОДЕЛЛАРИНИ ҚУЛАЙЛАШТИРИШ БЎЙИЧА ТАВСИЯЛАР

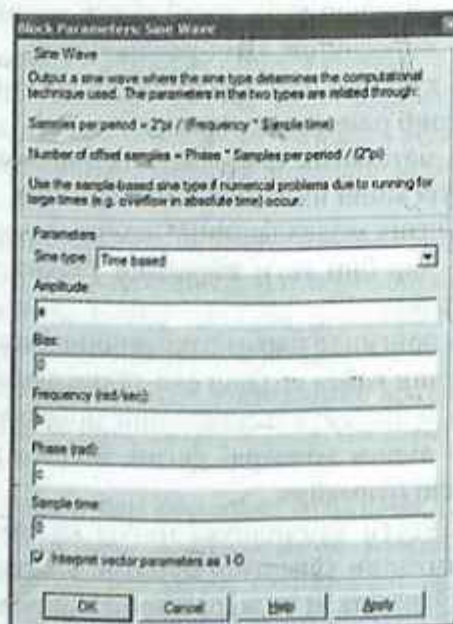
12.1. Блоклар параметрларини киритиш учун ўзгарувчилардан фойдаланиш

Одатда блоклар параметрлари сон қийматлари кўринишида киритилади. Лекин уларни ўзгарувчиларнинг номлари кўринишида ҳам киритиш мумкин. Ўзгарувчиларнинг қийматлари MATLAB тизимининг ишчи соҳасида моделлаш жараёни бошлангунча берилган бўлиши керак.

Ўзгарувчиларни бундай усулда бериш модель учун кўп вариантли ҳисоблашларни бажариш зарур бўлганда қулай. 12.1-расмда а, б ва в параметрлар билан тавсифланган модель кўрсатилган. Моделнинг созилашлар ойнаси 12.1-расм, б да келтирилган.



а)



б)



в)

12.1-расм. Параметрларни ўзгарувчилар кўринишида бериш.

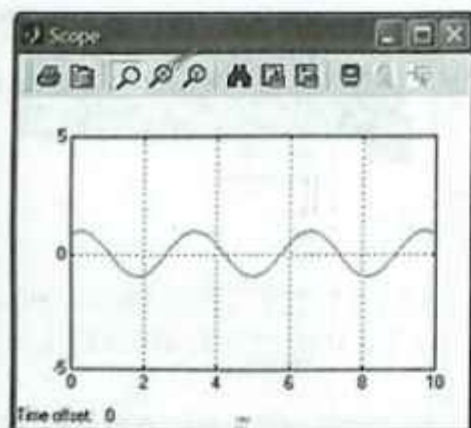
Параметрларнинг қийматларини командалар ойнасида бериш мумкин, масалан:

```
>> a=1;
>> b=2;
>> c=1;
```

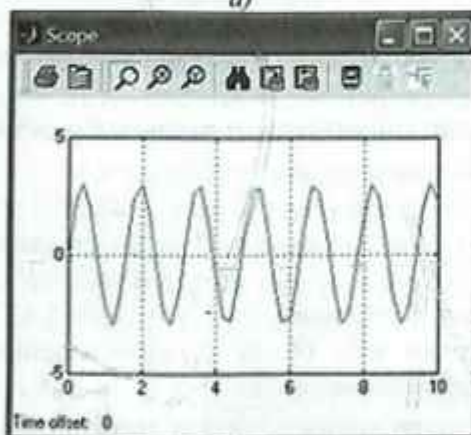
Кейин моделлашга ўтилади.

Агар параметрлар кўп бўлса ўзгарувчиларнинг қийматларини бериш операторларини ўз ичига олувчи *m*-файл яратиш мақсадга мувофиқ. *m*-файл таҳрирлагич ойнасида очилади ва менюнинг **Debug\Run** опцияси ёрдамида ишга туширилади. *m*-файлни сақламасдан ҳам ишга тушириш мумкин. Бунинг учун *m*-файлнинг матни белгиланади, сичқончанинг ўнг тугмаси босилади ва Evaluate Selection буйруғи танланади (12.1-расм, в).

Моделлаш натижасида қуйидаги графикка эга бўламиз (12.2-расм, а).



a)



b)

12.2-расм. Моделлаш натижалари.

Буйруқлар ойнасида куйидаги амаллар

```
>> a=3;
```

```
b=4;
```

```
c=0;
```

бажарилгандан кейин 12.2-расм, б да кўрсатилган график ҳосил бўлади:

12.2. Scope блокнинг ойнасида графикларни форматлаш

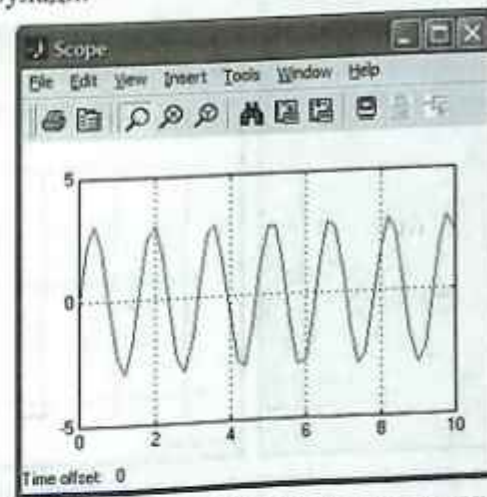
Сигналларнинг графикларини акс эттирувчи Scope блокнинг ойнаси графикларнинг ташқи кўринишини ўзгартириш имкониятига эга эмас.

Графикларнинг ташқи кўринишини бошқариш имкониятига эга бўлиш учун MATLAB тизимининг буйруқлар ойнасида (ёки m-файл ёрдамида) куйидаги созлашларни бажарамиз:

```
set(0,'ShowHiddenHandles','On')
```

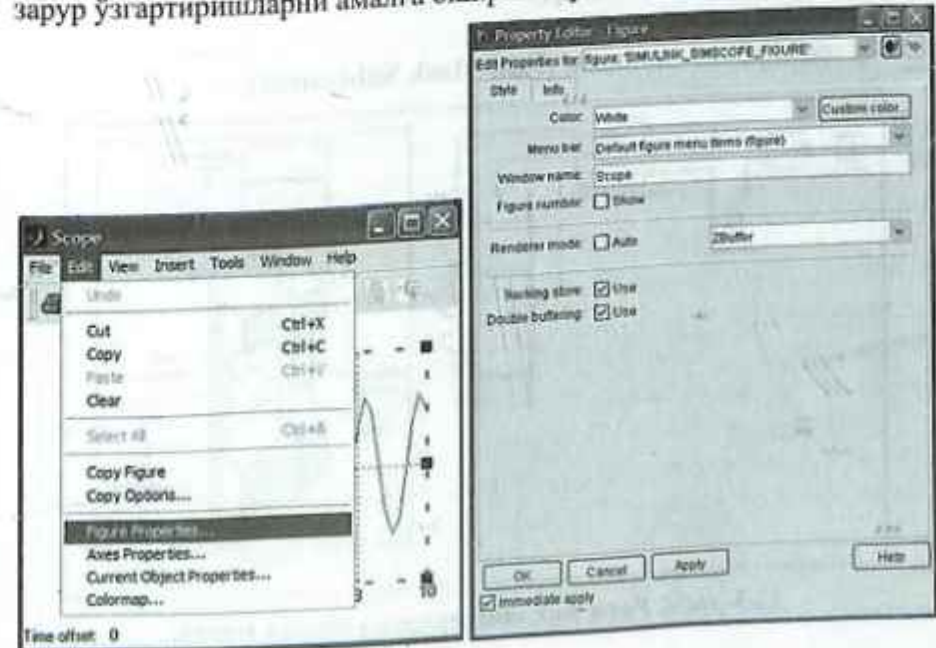
```
set(gcf,'menubar','figure')
```

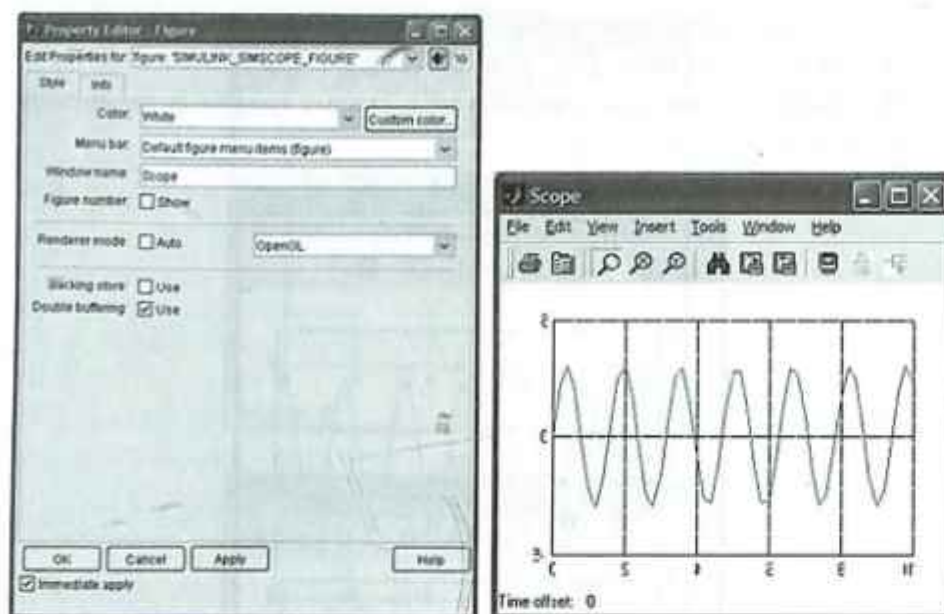
Натижада 12.3-расмда кўрсатилганга ўхшаш графикда тахрирлаш менюси ҳосил бўлади.



12.3-расм. Scope блокнинг ойнаси тахрирлаш менюси.

Тахрирлаш менюсининг Edit/Figure Properties/..., Edit/Axes Properties/..., Edit/Current Object Properties/..., ва бошқа командаларидан фойдаланиб ойна, ўқлар ва графикларнинг ташқи кўринишида зарур ўзгартиришларни амалга ошириш мумкин (12.4-расм).



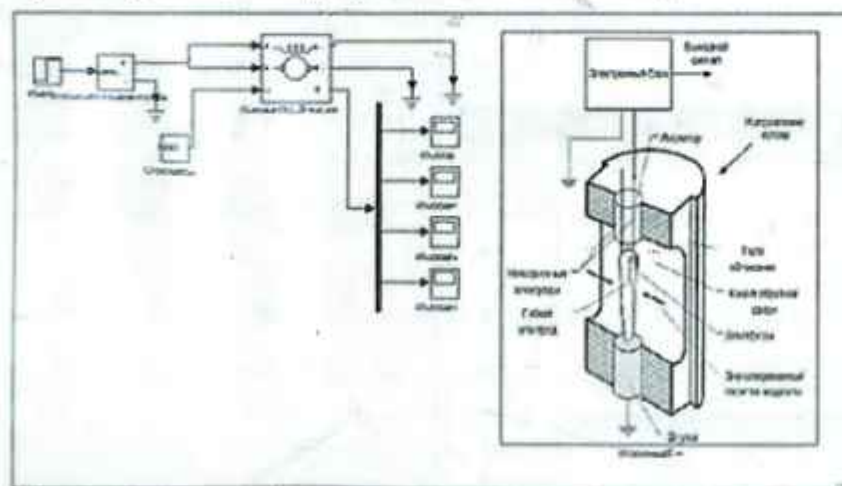


12.4-расм. Тахрирлаш менюсининг Figure Properties ойнаси.

12.3. Модель ойинасида расмларни акс эттириш

Модель ойнасида расмларни акс эттиришнинг стандарт воситалари мавжуд эмас. Лекин ушбу чекланишни бартараф қилиш мумкин. Бунинг учун қуйидагилар бажарилиши керак:

- ичи бўш ост тизим яратилади;
- у маскировка қилинади (**EditMask Subsystem**);



12.5-расм. Расм жойлаштирилган ойнага мисол.

- масканинг тахрирлаш ойнаси очилади (**Edit\Edit Mask..**);
- тахрирлаш ойнаси **Icon** бўлимининг **Drawing Commands** қисмига расмни файлдан ўқиш ва акс эттириш буйруғи киритилади, масалан: `image(imread('Picture_1.jpg','jpg'))`, бу ерда биринчи параметр граффик файлининг номи, иккинчиси эса – унинг тури, ***.bmp** турдаги файл-ни ҳам киритиш мумкин.

Расм жойлаштирилган ойнага мисол 12.5-расмда келтирилган.

ХШ БОБ. НОРАВШАН ТЎПЛАМЛАР ВА НОРАВШАН МАНТИҚ

Норавшан тўплamlар назариясига (fuzzy sets theory) Беркли университетининг профессори Лутфи Зода (Lotfi Zadeh) 1965 йилда "Information and Control" журналида чоп этилган "Fuzzy Sets" номли иш оркали асос солган. Инглизчадан «fuzzy» сўзини ўзбек тилига норавшан деб таржима қилиш мумкин.

Бундай тўплamlар назарияси 1975 йилдан бошлаб амалда қўлланила бошланди. Шу йили Мамдани ва Ассилиан (Mamdani and Assilian) буг двигателини бошқариш учун биринчи норавшан контроллерни ишлаб чиқишди. 1982 йили Холмблад ва Остергад (Holmblad and Ostergaad) Даниядаги цемент заводида цементни куйдиришда қўлланилган саноат норавшан контроллерни ишлаб чиқишди. "Агар-бўлади" лингвистик қоидаларига асосланган биринчи саноат норавшан контроллерининг муваффақияти математик ва инженерлар орасида норавшан тўплamlар назариясига бўлган қизиқишни кескин орттириб юборди. Шундан сўнг Бартоломей Коско (Bart Kosko) норавшан аппроксимация (Fuzzy Approximation Theorem) назариясини исботлади. Ушбу назарияга асосан, ҳар қандай математик тизим норавшан мантиққа асосланган тизим ёрдамида аппроксимация қилиниши мумкин. Бошқача айтганда, "Агар-бўлади" лингвистик қоидалари ва норавшан кўпликлар назарияси воситалари ёрдамида, бошқариш ва идентификацияда анъанавий қўлланиладиган мураккаб дифференциал ва интеграл ҳисоблашлар апаратидан фойдаланмасдан ҳам, "қириш-чиқиш" боғланишларини керакли даражада аниқ акс эттириш мумкин.

Ҳозирги вақтда норавшан тўплamlар назариясига асосланган тизимлар: технологик жараёнларни бошқариш, транспортни бошқариш, тиббий ташхис, техник ташхис, молиявий менеджмент, биржавий башорат, образларни аниқлаштириш ва бошқа соҳалар учун ишлаб чиқилган ва муваффақиятли қўлланилмоқда. Норавшан тўплamlар назариясини қўллаш соҳалари жуда кенг – видеокамера ва маиший

қир ювиш машиналаридан бошлаб ҳаво ҳужумига қарши ракеталарни йўналтириш ва ҳарбий жанговар вертолётларни бошқариш воситаларигача. Норавшан мантикий ҳулосалар тизимларини ишлаб чиқиш бўйича амалий натижалар уларни лойиҳалашнинг муддати ва нархи анъанавий математик апаратни қўллагандагига нисбатан кескин қамлигини кўрсатади.

Қуйида MATLAB нинг Fuzzy Logic Toolbox пакетидан фойдаланишда зарур бўладиган норавшан тўплamlар назариясининг асосий атама ва тушунчалари берилган. Инглизча пакетдан фойдаланишни қулайлаштириш мақсадида инглизча атамалар ҳам келтирилган.

13.1. Асосий атамалар ва таърифлар

Норавшан тўплamlар тушунчаси-математик моделларни қуриш учун норавшан ахборотни математик формаллаштиришга уринишни акс эттиради. Тушунчанинг асосини умумий хусусиятга эга норавшан тўплaml элементлари ушбу хусусиятга ҳар хил даражада эга бўлади. Бундай ёндошишда "қандайдир элемент берилган тўплamlга мансуб" деган атама ўз маъносини йўқотади, чунки бунда аниқ элемент берилган тўплamlнинг хусусиятларига "қандай қучли" ёки қандай даражада мос қилиниши кўрсатиб бериш керак.

1-таъриф. Универсал U тўплamlдаги норавшан тўплaml (fuzzy set) $\tilde{A}$ деб $\mu_{\tilde{A}}(u)$ жуфтликларнинг мажмуига айтилади, бу ерда, $\mu_{\tilde{A}}(u)$ - тўплamlдаги $u \in U$ элементнинг норавшан $\tilde{A}$ тўплamlга мансублик даражаси. Мансублик даражаси сифатида $[0, 1]$ диапазондаги сон олинади. Универсал тўплamlдаги элементнинг мансублик даражаси қанча юқори бўлса унинг норавшан тўплaml хоссаларига мослик даражаси ҳам шунча юқори бўлади.

2-таъриф. Мансублик функцияси (membership function) деб, универсал тўплamlдаги ихтиёрий элементнинг норавшан тўплamlга мослик даражасини ҳисоблаш имкониятини берувчи функцияга айтилади.

Агар универсал тўплaml чекланган миқдордаги $U = \{u_1, u_2, \dots, u_k\}$ элементлардан ташкил топган бўлса норавшан $\tilde{A}$ тўплaml $\tilde{A} = \sum_{i=1}^k \mu_{\tilde{A}}(u_i) / u_i$ кўринишда ёзилади. Универсал U тўплaml узлуксиз бўлганда $\tilde{A} = \int \mu_{\tilde{A}}(u) / u$ белгиланишдан фойдаланилади.

Юқорида келтирилган формулалардаги $\sum$ ва $\int$ белгилар $\mu_{\tilde{A}}(u)$ ва u жуфтликларнинг мажмуини билдиради.

1-мисол. "Ўрта бўйли эркак тушунчасини" норавшан тўплaml кўринишида тақдим қилинг.

Ечилиш: $\bar{A} = 0/155 + 0.1/160 + 0.3/165 + 0.8/170 + 1/175 + 1/180 + 0.5/185 + 0/190$.

3-таъриф. Лингвистик ўзгарувчи (linguistic variable) деб, қийматлари қандайдир табиий ёки сунъий тилнинг сўзлари ёки сўз бирикмалари бўлган ўзгарувчига айтилади.

4-таъриф. Терм-тўплам (term set) деб, лингвистик ўзгарувчининг ҳамма мумкин бўлган қийматларининг тўпламига айтилади.

5-таъриф. Терм (term) деб, терм-тўпламга мансуб бўлган ҳар қандай элементга айтилади. Норавшан тўпламлар назариясида терм мансублик функцияси ёрдамида норавшан тўплам билан формаллаштирилади.

2-мисол. “Паст”, “ўртача”, “юқори”, “жуда юқори” шкала бўйича баҳоланувчи “автомобилнинг тезлиги” номи ўзгарувчини кўриб чиқайлик.

Ушбу мисолда “автомобилнинг тезлиги” лингвистик ўзгарувчи, лингвистик баҳолаш термлари- “паст”, “ўртача”, “юқори”, “жуда юқори” терм-тўплами ташкил қиладилар.

6-таъриф. Дефаззификация (defuzzification) деб, норавшан тўпламни аниқ сонга айлантириш жараёнига (процедурасига) айтилади.

Норавшан тўпламлар назариясида дефаззификация процедураси эхтимоллар назариясидаги эхтимоллий катталиқнинг ҳолат характеристикасини (математик кутишни) аниқлашга ўхшаш. Дефаззификация процедурасини амалга оширишнинг энг содда усули мансублик функциясининг максимумига мос келувчи аниқ сонни танлашдир. Лекин бундай усул фақат ягона экстремумга эга бўлган мансублик функциялари учун ўринли. Кўплаб экстремумларга эга бўлган мансублик функциялари учун MATLAB нинг Fuzzy Logic Toolbox пакетида қуйидаги дефаззификация усуллари дастурланган:

Centroid – огирлик маркази;

Bisector – медиана;

LOM (Largest Of Maximums) – максимумларнинг энг каттаси;

SOM (Smallest Of Maximums) – максимумларнинг энг кичиги;

Mom (Mean Of Maximums) – максимумларнинг маркази.

7-таъриф. Норавшан $\bar{A} = \sum_{i=1}^k \mu_A(u_i)/u_i$ тўпламнинг дефаззификацияси огирлик маркази усули билан

$$a = \frac{\int_a^b u \cdot \mu_A(u) du}{\int_a^b \mu_A(u) du}$$

формула бўйича амалга оширилади..

Ушбу формуланинг физик аналог сифатида координата ўқлари ва норавшан кўпхад мансублик функцияси билан чегараланган ясси фигуранинг огирлик марказини топишни кўрсатиш мумкин. Универсал

кўпхад дискрет бўлган ҳолда $\bar{A} = \sum_{i=1}^k \mu_A(u_i)/u_i$ норавшан кўпхаднинг дефаззификацияси огирлик маркази усули билан $a = \frac{\sum_{i=1}^k u_i \cdot \mu_A(u_i)}{\sum_{i=1}^k \mu_A(u_i)}$ формула ёрдамида бажарилади.

8-таъриф. Норавшан $\bar{A} = \int_{[a,b]} \mu_A(u)/u$ кўпхаднинг медиана усули билан дефаззификацияси $\int_a^b \mu_A(u) du = \int_a^b \mu_A(u) du$ тенглик ўринли бўлган сонни топишдан иборат.

Медиана усулининг геометрик интерпретацияси қуйидагича: абсцисса ўқида шундай нукта топиладики, ушбу нуктадан ўтказилган перпендикуляр мансублик функцияси эгри чизиғининг остида жойлашган юзани тенг икки бўлакка бўлади. Универсал кўпхад дискрет

бўлган ҳолда $\bar{A} = \sum_{i=1}^k \mu_A(u_i)/u_i$ норавшан кўпхад медиана усули билан $a = \frac{\min(u_j)}{\forall j \sum_{i=1}^k \mu_A(u_i) \geq \frac{1}{2} \sum_{i=1}^k \mu_A(u_i)}$ формула ёрдамида дефаззификация қилинади.

9-таъриф. Норавшан $\bar{A} = \int_{[a,b]} \mu_A(u)/u$ тўплам максимумлар маркази усули билан қуйидаги формулага асосан дефаззификация қилинади,

$$a = \frac{\int_G u du}{\int_G du}$$

Бу ерда G – норавшан $\bar{A}$ кўпхадга максимал даражада мансуб бўлган $[u, \bar{u}]$ интервалдаги барча элементларнинг тўплами.

Максимумлар маркази усулида максимал даражада мансубликка эга бўлган универсал тўплам элементларининг ўрта арифметиги аниқланади. Агар бундай элементларнинг сони чекланган бўлса 9-таърифдаги формула соддалашади ва қуйидаги кўринишга келади:

$$a = \frac{\sum_{u_j \in G} u_j}{|G|},$$

бу ерда $|G|$ - G кўпхаднинг куввати.

Дискрет ҳол учун максимумларнинг энг каттаси ва максимумларнинг энг кичиги усуллари ёрдамида *дефаззификация* мос равишда $a = \max(G)$ ва $a = \min(G)$ формулаларга асосан бажарилади.

3-мисол. 1-мисолдаги норавадан «ўрта бўйли эркак киши» кўпхади учун дефаззификацияни оғирлик маркази усули билан амалга ошириш.

Ечиш: 7-таърифдаги формулани қўлаймиз:

$$a = \frac{0 \cdot 155 + 0,1 \cdot 160 + 0,3 \cdot 165 + 0,8 \cdot 170 + 1 \cdot 175 + 1 \cdot 180 + 0,5 \cdot 185 + 0 \cdot 190}{0 + 0,1 + 0,3 + 0,8 + 1 + 1 + 0,5 + 0} = 175,4$$

10-таъриф. у параметрнинг қийматига $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ факторларнинг таъсири тўғрисидаги *норавдан билимлар базаси* (fuzzy knowledge base) деб, қуйидаги турдаги мантикий фикрлар мажмуида айтилади:

$$\text{АГАР } (x_1 = a_1^{i1}) I (x_2 = a_2^{i2}) I \dots I (x_n = a_n^{in})$$

$$\text{ЁКИ } (x_1 = a_1^{i2}) I (x_2 = a_2^{i2}) I \dots I (x_n = a_n^{in}) \dots$$

$$\text{ЁКИ } (x_1 = a_1^{jkj}) I (x_2 = a_2^{jkj}) I \dots I (x_n = a_n^{jkj}),$$

БЎЛСА $y = d_j$, ҳамма $j = \overline{1, m}$ лар учун,

бу ерда a_i^{jp} - норавадан терм, унинг ёрдамида j_p ($p = \overline{1, k_j}$) ракамли сатрдаги x_i ўзгарувчи баҳоланади;

k_j - сатр-конъюнкциялар сони, уларда чиқиш норавадан d_j , $j = \overline{1, m}$ терм билан баҳоланади;

m - термлар сони, улардан у чиқиш параметрини лингвистик баҳолашда фойдаланилади.

$\cup$ (ЁКИ) ва $\cap$ (ВА) амаллари ёрдамида 10-таърифда келтирилган норавадан билимлар базаси учун формулани соддарок кўринишга келтиришимиз мумкин:

$$\bigcup_{p=1}^{k_j} \left[\bigcap_{i=1}^n (x_i = a_i^{jp}) \right] \rightarrow y = d_j, \quad j = \overline{1, m} \quad (1)$$

11-таъриф. *Норавдан мантикий хулоса* (fuzzy logic inference) деб, норавадан билимлар базаси ва норавадан тўпламлар устида амаллар ёрдамида $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ боғланишни апроксимация қилишга айтилади.

Айтайлик,

$\mu^{jp}(x_i)$ - норавадан терм

a_i^{jp} , $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, m}$, $p = \overline{1, k_j}$ га кириш x_i нинг мансублик функцияси, яъни

$$a_i^{jp} = \int_{\mathcal{U}} \mu^{jp}(x_i) / x_i$$

ва $\mu^{dj}(y)$ - норавадан терм d_j , $j = \overline{1, m}$ га у чиқишнинг мансублик функцияси $d_j = \int_{\mathcal{U}} \mu^{dj}(y) / y$ бўлсин. У ҳолда конкрет кириш $x^* = \{x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*\}$ векторининг билимлар базасидаги d_j норавадан термларга мансублик даражаси қуйидаги норавадан мантикий тенгламалар системасидан аникланади:

$$\mu^{dj}(x^*) = \bigwedge_{p=\overline{1, k_j}} \bigwedge_{i=\overline{1, n}} [\mu^{jp}(x_i^*)], \quad j = \overline{1, m}, \quad (2)$$

бу ерда $\bigvee$ ($\bigwedge$) - максимум (минимум) операцияси.

x^* кириш векторига мос келувчи $\tilde{y}$ норавадан тўплам қуйидагича аникланади:

$$\tilde{y} = \bigcup_{j=\overline{1, m}} \int_{\mathcal{U}} \min(\mu^{dj}(x^*), \mu^{dj}(y)) / y, \quad (3)$$

бу ерда $\cup$ - норавадан тўпламларни бирлаштириш операцияси.

x^* кириш векторига мос келувчи у чиқишнинг аниқ қиймати норавадан $\tilde{y}$ тўпламни дефаззификация қилиш натижасида аникланади.

13.2. Норавдан тўпламларнинг хоссалари

12-таъриф. $\tilde{A}$ норавадан тўпламнинг баландлиги деб, унинг $\text{hgt}(\tilde{A}) = \sup_{u \in \mathcal{U}} \mu_{\tilde{A}}(u)$ мансублик функциясининг юқори чегарасига айтилади.

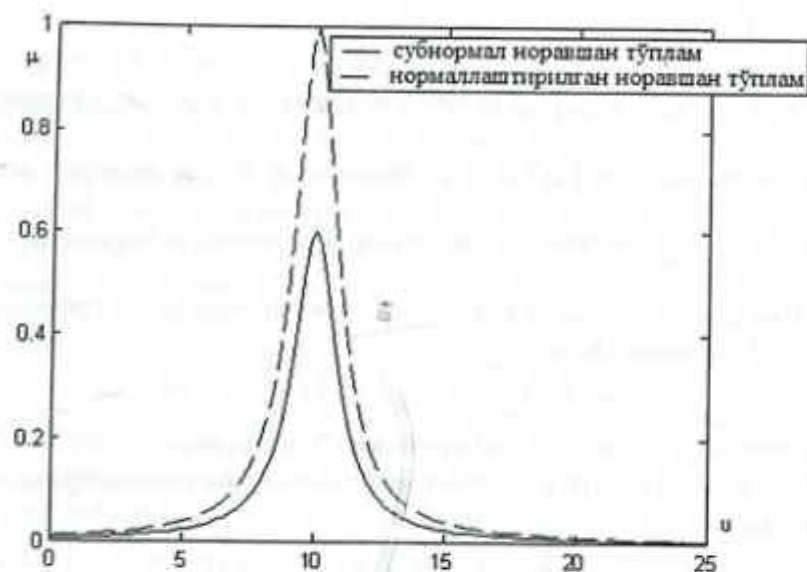
13-таъриф. Норавдан $\tilde{A}$ тўпламнинг баландлиги бирга тенг бўлса у нормал деб аталади. Нормал бўлмаган норавадан тўпламлар *субнормал* деб аталади. *Нормаллаштириш* деб, субнормал $\tilde{A}$ норавадан тўпламни нормал $\tilde{A}$ тўпламга ўзгартириш қуйидагича бажарилади:

$$\tilde{A} = \text{norm}(\tilde{A}') \Leftrightarrow \mu_{\tilde{A}}(u) = \frac{\mu_{\tilde{A}'}(u)}{\text{hgt}(\tilde{A}')} \cdot \forall u \in \mathcal{U}.$$

Мисол сифатида 13.1-расмда мансублик функцияси

$\mu_{\tilde{A}'}(u) = \frac{0,6}{1+(10-u)^2}$ бўлган $\tilde{A}'$ норавадан тўпламни нормаллаштириш келтирилган.

$$\mu_A(u) = \frac{0,6}{1+(10-u)^2}$$



13.1-расм. Норавшан тўпламни нормаллаштириш.

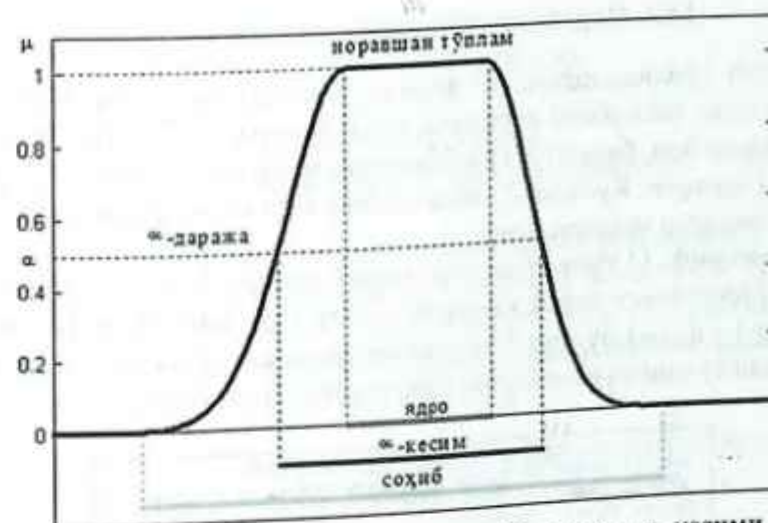
14-таъриф. $\tilde{A}$ норавшан тўпламнинг *соҳиби* деб, элементлари нолдан фаркли мансублик даражасига эга бўлган U универсал тўпламнинг аниқ ост тўпламига айтилади: $\text{supp}(\tilde{A}) = \{u: \mu_A(u) > 0\}$.

15-таъриф. Бўш норавшан тўплам деб, соҳиби бўш бўлган норавшан тўпламга айтилади.

16-таъриф. $\tilde{A}$ норавшан тўпламнинг *ядроти* деб, элементларининг мансублик даражаси бирга тенг бўлган U универсал тўпламнинг аниқ ост тўпламига айтилади: $\text{core}(\tilde{A}) = \{u: \mu_A(u) = 1\}$. Субнормал норавшан тўпламнинг ядроти бўш бўлади.

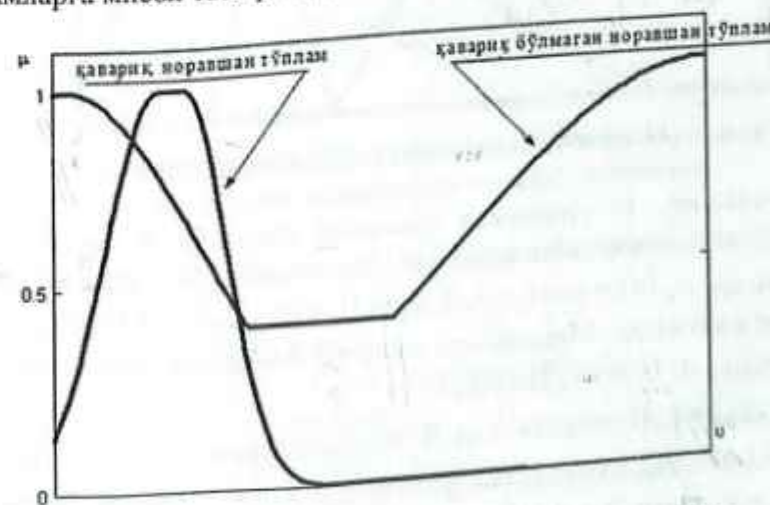
17-таъриф. $\tilde{A}$ норавшан тўпламнинг α -*кесими* (ёки α -*даражаси* тўплам) деб, элементларининг мансублик даражаси α ёки ундан катта бўлган U универсал тўпламнинг аниқ ост тўпламига айтилади: $A_\alpha = \{u: \mu_A(u) \geq \alpha\}$, $\alpha \in [0,1]$. α нинг қиймати α -*даража* дейилади. Соҳибни (ядрони) нол (бирлик) α -*даражадаги* норавшан тўпламнинг кесими деб караш мумкин.

13.2-расмда норавшан тўпламнинг соҳибини, ядросини, α -кесимини ва α -даражасини аниқлашга мисол келтирилган.



13.2-расм. Норавшан тўпламнинг соҳиби, ядроти, α -кесими ва α -даражаси.

18-таъриф. Агар $\mu_A(\lambda u_1 + (1-\lambda)u_2) \geq \min(\mu_A(u_1), \mu_A(u_2))$, $u_1, u_2 \in U$, $\lambda \in [0,1]$ бўлса $\tilde{A}$ норавшан тўплам *кавариқ* деб аталади. Альтернатив таъриф: ҳамма α -кесимлари кавариқ тўпламга мансуб бўлган норавшан тўплам кавариқ бўлади. Кавариқ ва кавариқ бўлмаган тўпламларга мисол 13.3-расмда келтирилган.



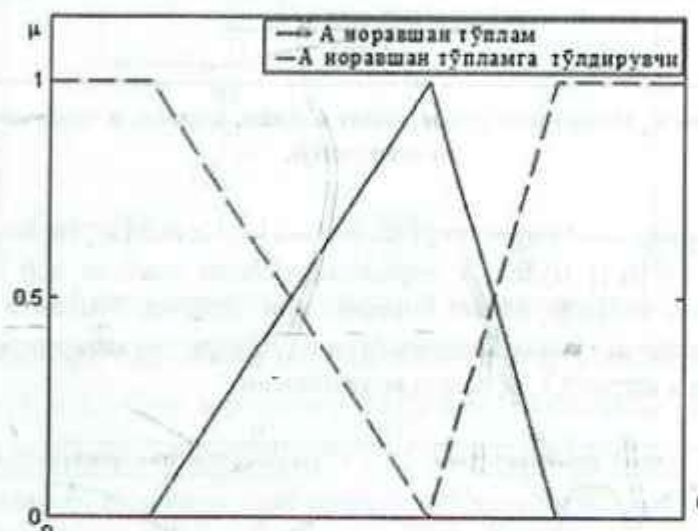
13.3-расм. Кавариқ ва кавариқ бўлмаган тўпламлар.

19-таъриф. Агар $\mu_A(u) = \mu_B(u)$, $\forall u \in U$ бўлса, $\tilde{A}$ ва $\tilde{B}$ норавшан тўпламлар *тенг* ($\tilde{A} = \tilde{B}$) бўлади.

13.3. Норовшан тўпламлар устида амаллар

Оддий тўпламлардагидан фарқли равишда норовшан тўпламлар назариясида мансублик даражаси фақат бинар 0 ва 1 қийматлар билан чегараланмайди, балки $[0, 1]$ интервалдаги ҳар қандай қийматни қабул қилиши мумкин. Қуйида Л. Зода таклиф қилган норовшан тўпламлар устида амаллар келтирилган.

20-таъриф. U универсал тўпламда берилган $\tilde{A}$ норовшан тўпламнинг тўлдирувчиси деб $\tilde{A}$ ҳамма $u \in U$ лар учун мансублик функцияси $\mu_{\tilde{A}}(u) = 1 - \mu_A(u)$ бўлган $\tilde{A}$ норовшан тўпламга айтилади. 13.4-расмда норовшан тўлдирувчи амалини бажаришга мисол келтирилган.



13.4-расм. Норовшан тўплам тўлдирувчиси.

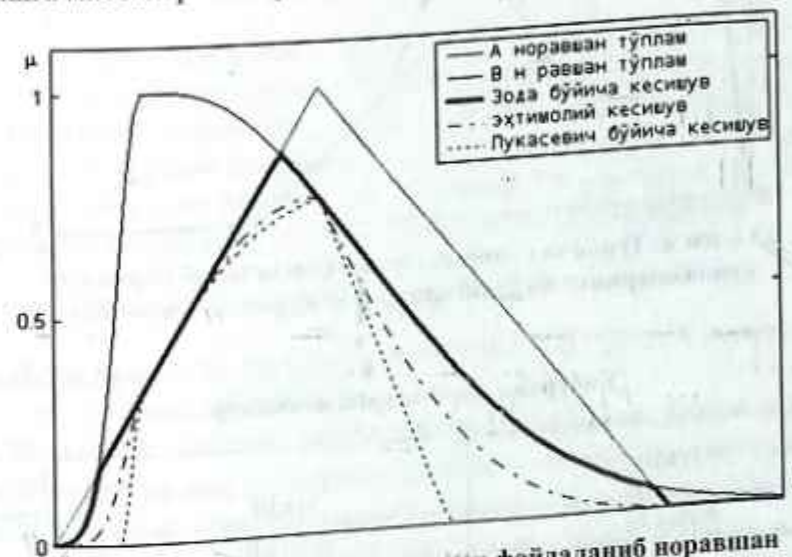
21-таъриф. U универсал тўпламда берилган $\tilde{A}$ ва $\tilde{B}$ норовшан тўпламларнинг кесишуви деб ҳамма $u \in U$ лар учун мансублик функцияси $\mu_C(u) = \min(\mu_{\tilde{A}}(u), \mu_{\tilde{B}}(u))$ бўлган $\tilde{C} = \tilde{A} \cap \tilde{B}$ норовшан тўпламга айтилади. Минимумни аниқлаш амали ҳам $\wedge$ билан белгиланади, яъни, $\mu_C(u) = \mu_{\tilde{A}}(u) \wedge \mu_{\tilde{B}}(u)$.

22-таъриф. Норовшан $\tilde{A}$ ва $\tilde{B}$ тўпламларнинг бирлашуви деб, ҳамма $u \in U$ лар учун мансублик функцияси $\mu_D(u) = \max(\mu_{\tilde{A}}(u), \mu_{\tilde{B}}(u))$ бўлган норовшан $\tilde{D} = \tilde{A} \cup \tilde{B}$ тўпламга айтилади. Максимумни аниқлаш амали ҳам $\vee$ билан белгиланади, яъни, $\mu_D(u) = \mu_{\tilde{A}}(u) \vee \mu_{\tilde{B}}(u)$.

23-таъриф. учбурчак норма (t -норма) деб, ҳар қандай $a, b, c \in [0, 1]$ учун қуйидаги аксиомаларни:

1. $T(a, 1) = a$ (чегаравий шартлар);
 2. $T(a, b) \leq T(a, c)$ агар $b \leq c$ бўлса (монотонлик);
 3. $T(a, b) = T(b, a)$ (коммутативлик);
 4. $T(a, T(b, c)) = T(T(a, b), c)$ (ассоциативлик)
- қониктирувчи бирлик $[0, 1] \times [0, 1] \rightarrow [0, 1]$ интервалдаги T бинар операцияга айтилади.

Кўпчилик ҳолларда қуйидаги t -нормалардан фойдаланилади: Зода бўйича кесишув – $T(a, b) = \min(a, b)$; эҳтимоллий кесишув – $T(a, b) = ab$; Лукасевич бўйича кесишув – $T(a, b) = \max(a + b - 1, 0)$. 13.5-расмда турлича t -нормалардан фойдаланиб норовшан тўпламларнинг кесишувини қуришга мисоллар келтирилган.



13.5-расм. Турлича t -нормалардан фойдаланиб норовшан тўпламларнинг кесишувини қуришга мисоллар.

24-таъриф. Учбурчак конорма (s -норма) деб, ҳар қандай $a, b, c \in [0, 1]$ учун қуйидаги аксиомаларни:

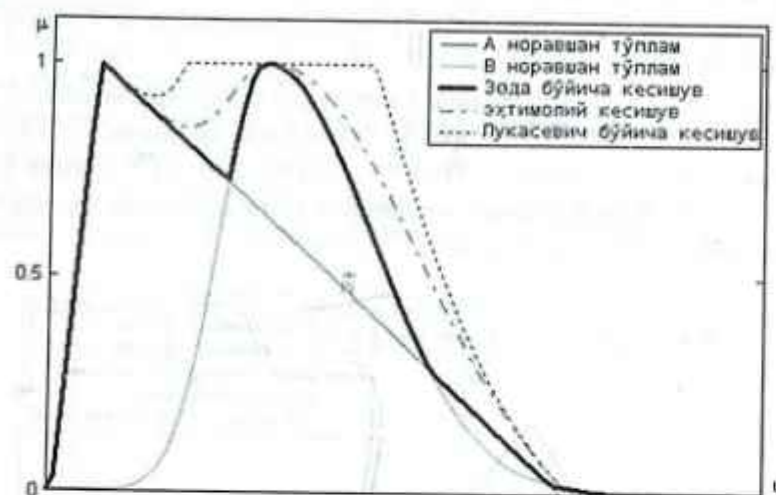
1. $S(a, 0) = a$ (чегаравий шарт);
2. $S(a, b) \leq S(a, c)$ агар $b \leq c$ бўлганда (монотонлик);
3. $S(a, b) = S(b, a)$ (коммутативлик);
4. $S(a, S(b, c)) = S(S(a, b), c)$ (ассоциативлик).

қониктирувчи бирлик $[0, 1] \times [0, 1] \rightarrow [0, 1]$ интервалдаги S бинар операцияга айтилади.

Кўпчилик ҳолларда қуйидаги s -нормалардан фойдаланилади: Зода бўйича бирлашма – $S(a, b) = \max(a, b)$; эҳтимоллий бирлашма – $S(a, b) = a + b - ab$; Лукасевич бўйича бирлашма – $S(a, b) = \min(a + b, 1)$. 13.6-расмда тур-

лича s -нормалардан фойдаланиб, норавадан тўплamlарнинг бирлашмаларни куришга мисоллар келтирилган.

Энг кўп ишлатиладиган учбурчак нормалар 13.1-жадвалда келтирилган.



13.6-расм. Турлича s -нормалардан фойдаланиб норавадан тўплamlарнинг бирлашмаларни куришга мисоллар.

Учбурчак нормаларга мисоллар

$T(a,b)$	$S(a,b)$	Параметрлар
$\min(a,b)$	$\max(a,b)$	-
ab	$a+b-ab$	-
$\max(a+b-1,0)$	$\min(a+b,1)$	-
$\begin{cases} a, & \text{агар } b=1 \text{ бўлса} \\ b, & \text{агар } a=1 \text{ бўлса} \\ 0, & \text{агар } a,b \neq 1 \text{ бўлса} \end{cases}$	$\begin{cases} a, & \text{агар } b=0 \text{ бўлса} \\ b, & \text{агар } a=0 \text{ бўлса} \\ 1, & \text{агар } a,b \neq 0 \text{ бўлса} \end{cases}$	-
$\frac{ab}{\gamma + (1-\gamma)(a+b-ab)}$	$\frac{a+b-(2-\gamma)ab}{1-(1-\gamma)ab}$	$\gamma > 0$
$\frac{ab}{\max(a,b,\alpha)}$	$\frac{a+b-ab-\min(a,b,1-\alpha)}{\max(1-a,1-b,\alpha)}$	$\alpha \in [0,1]$
$\left(1 + \sqrt{\left(\frac{1}{a}-1\right)^2 + \left(\frac{1}{b}-1\right)^2}\right)^{-1}$	$\left(1 + \sqrt{\left(\frac{1}{a}-1\right)^2 + \left(\frac{1}{b}-1\right)^2}\right)^{-1}$	$\lambda > 0$

$1 - \sqrt{(1-a)^2 + (1-b)^2 - (1-a)(1-b)}$	$\sqrt{a^2 + b^2 - a^2 b^2}$	$\lambda > 0$
$\max\left(1 - \sqrt{(1-a)^2 + (1-b)^2}, 0\right)$	$\min\left(1 - \sqrt{a^2 + b^2}, 1\right)$	$\rho \geq 1$
$\log_{\omega}\left(1 + \frac{(\omega^a - 1)(\omega^b - 1)}{\omega - 1}\right)$	$1 - \log_{\omega}\left(1 + \frac{\omega^{1-a} - \omega^{1-b}}{\omega - 1}\right)$	$\omega > 0, \omega \neq 1$
$\max\left(\frac{a+b-1+\lambda ab}{1+\lambda}, 0\right)$	$\min(a+b+\lambda ab, 1)$	$\lambda \geq -1$

13.4. Норавадан арифметика

Ушбу бўлимда норавадан аргументлар бўйича аниқ алгебраик функцияларнинг қийматларини ҳисоблаш усулларини кўриб чиқамиз.

24-таъриф. Норавадан сон деб ҳақиқий сонлар тўпламида бўлаклик-узлуксиз мансублик функциясига эга бўлган каварик нормал норавадан тўпламга айтилади. Мисол учун, норавадан "10 нинг атрофида" сонини қуйидаги мансублик функцияси кўринишида бериш мумкин:

$$\mu_{\text{«10 нинг атрофида»}}(u) = \frac{1}{1+(u-10)^2}$$

25-таъриф. Агар $\mu_{\lambda}(u) = 0, \forall u < 0 (\forall u > 0)$ бўлса $\tilde{A}$ норавадан сон мусбат (манфий) деб аталади.

26-таъриф. Зоданинг умумлаштириш принципи. Агар n мустақил ўзгарувчилар ва мос равишда норавадан $\tilde{x}_1, \tilde{x}_2, \dots, \tilde{x}_n$ сонлар билан берилган $x_1, x_2, \dots, x_n$ аргументларнинг функцияси $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ бўлса, $\tilde{y} = f(\tilde{x}_1, \tilde{x}_2, \dots, \tilde{x}_n)$ функциянинг қиймати мансублик функцияси

$$\mu_{\tilde{y}}(y^*) = \sup_{y^* = f(\tilde{x}_1, \tilde{x}_2, \dots, \tilde{x}_n)} \min_{\tilde{x}_i \in \text{supp}(\tilde{x}_i), i=1,n} (\mu_{\tilde{x}_i}(x_i^*))$$

бўлган норавадан сон $\tilde{y}$ деб аталади.

Умумлаштириш принципи норавадан аргументлардан аниқ функциянинг қийматига мос келувчи норавадан соннинг мансублик функциясини топиш имкониятини беради. Норавадан умумлаштириш принципининг компьютерда амалга оширилиши қуйидаги алгоритм бўйича бажарилиши мумкин:

1-қадам. $y = y^*$ қийматни бериш.

2-қадам. $y^* = (x_{1,j}^*, x_{2,j}^*, \dots, x_{n,j}^*)$ ва $x_{i,j}^* \in \text{supp } p(\tilde{x}_i), i = \overline{1,n}$ шартларни қаноатлантирувчи ҳамма $\{x_{1,j}^*, x_{2,j}^*, \dots, x_{n,j}^*\}, j = \overline{1,k}$ ларни аниқлаш.

3-қадам. y^* элементнинг норавшан $\bar{y}$ сонга мансублик даражасини куйидаги формулага асосан ҳисоблаш:

$$\mu_{\bar{y}}(y^*) = \max_{j=1,2} \min_{i=1,n} (\mu_{\bar{x}_i}(x_{i,j}^*)).$$

4-қадам. «Ҳамма y элементлар олинганми?» шартининг бажарилишини текшириш. Агар «Ҳа» бўлса 5-қадамга ўтиш. Акс ҳолда янги y^* қийматни бериш ва 2-қадамга ўтиш.

5-қадам. Тамом.

Келтирилган алгоритм норавшан сонни дискрет универсал тўпламда такдим этишга асосланган, яъни

$$\bar{x} = \sum_{p=1}^P \mu_{\bar{x}}(x_p) / x_p.$$

Одатда $\bar{x}_i, i = \overline{1, n}$ бошланғич маълумотлар бўлакли-узлуксиз мансублик функциялари кўринишида берилади:

$$\bar{x}_i = \int_{x \in R} \mu_{\bar{x}_i}(x) / x_i.$$

Берилган $\bar{y} = f(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n)$ функциянинг қийматларини ҳисоблаш учун $\bar{x}_i, i = \overline{1, n}$ аргументлар дискретланади, яъни,

$$\bar{x}_i = \sum_{p=1}^P \mu_{\bar{x}_i}(x_{i,p}) / x_{i,p} \text{ кўринишида такдим қилинади.}$$

Р нукталар сони ҳисоблашларнинг талаб қилинадиган аниқлигини таъминлаш учун етарли даражада олинади. Юқорида келтирилган алгоритмнинг чиқишида дискрет универсал тўпламда берилган норавшан тўплам чиқади. Норавшан $\bar{y}$ соннинг бўлакли – узлуксиз мансублик функциясини $(y^*, \mu_{\bar{y}}(y^*))$ нукталарнинг юқоридан айланиб ўтувчиси кўринишида олинади.

4-мисол. Норавшан $\bar{x}_1$ ва $\bar{x}_2$ сонлар куйидаги трапециясимон мансублик функциялари билан берилган:

$$\mu_{\bar{x}_1}(x) = \begin{cases} 0, & \text{агар } x < 1 \text{ } x > 4 \text{ бўлса} \\ x-1, & \text{агар } x \in [1, 2] \text{ бўлса} \\ 1, & \text{агар } x \in [2, 3] \text{ бўлса} \\ 4-x, & \text{агар } x \in [3, 4] \text{ бўлса} \end{cases}$$

ва

$$\mu_{\bar{x}_2}(x) = \begin{cases} 0, & \text{агар } x < 2 \text{ } x > 8 \text{ бўлса} \\ x-2, & \text{агар } x \in [2, 3] \text{ бўлса} \\ 1, & \text{агар } x \in [3, 4] \text{ бўлса} \\ 2-0,25x, & \text{агар } x \in [4, 8] \text{ бўлса ва} \end{cases}$$

Умумлаштириш принциpidан фойдаланиб норавшан $\bar{y} = \bar{x}_1 \cdot \bar{x}_2$ сонни топиш керак.

Тўртта нуктада (дискретларда) норавшан аргументларни берамиз: $\bar{x}_1$ учун $\{1, 2, 3, 4\}$ ва $\bar{x}_2$ учун $\{2, 3, 4, 8\}$. У ҳолда:

$$\bar{x}_1 = \frac{0}{1} + \frac{1}{2} + \frac{2}{3} + \frac{0}{4} \text{ ва } \bar{x}_2 = \frac{0}{2} + \frac{1}{3} + \frac{2}{4} + \frac{0}{8}.$$

Норавшан сонлар устида кўпайтириш амалининг бажарилиш жараёни 13.2-жадвалда келтирилган. Жадвалнинг ҳар бир устунини норавшан умумлаштириш алгоритмининг битта итерациясига мос келади. Натижавий норавшан тўплам жадвалнинг биринчи ва сўнгги сатрларида келтирилган. Жадвалнинг биринчи сатрида универсал тўпламнинг элементлари ёзилган, сўнгги сатрида эса уларнинг $\bar{x}_1 \cdot \bar{x}_2$ ифодага мансублик даражаси келтирилган. Натижада куйидагига эга бўламиз:

$$\bar{y} = \frac{0}{2} + \frac{1}{6} + \frac{1}{9} + \frac{0}{32}.$$

Айталик, $\bar{y}$ мансублик функциясининг тури $\bar{x}_1$ ва $\bar{x}_2$ аргументларнинг тури билан бир хил, яъни трапециясимон бўлсин. Бу ҳолда мансублик функцияси куйидаги ифода кўринишида берилади:

$$\mu_{\bar{y}}(y) = \begin{cases} 0, & \text{агар } y < 2 \text{ ёки } y > 32 \text{ бўлса} \\ (y-2)/3, & \text{агар } y \in [1, 2] \text{ бўлса} \\ 1, & \text{агар } y \in [6, 9] \text{ бўлса} \\ (32-y)/23, & \text{агар } y \in [3, 4] \text{ бўлса.} \end{cases}$$

13.7-расмда норавшан кўпайтирувчиларни тўртта дискретларда бериб $\bar{y} = \bar{x}_1 \cdot \bar{x}_2$ амалнинг бажарилиш натижалари кўрсатилган. Расмда қизил юлдузчалар билан 13.2-жадвалдан олинган $\bar{y}$ норавшан тўпламнинг элементлари, ингичка қизил чизиклар билан эса трапециясимон мансублик функцияси кўрсатилган.

Аргументлар бериладиган дискретлар сони ортганда норавшан умумлаштиришнинг натижаси қандай ўзгаришини кўриб чиқайлик. 7-расмда $\bar{x}_1$ ва $\bar{x}_2$ аргументлар 30 дискретда берилгандаги норавшан $\bar{y}$ сон келтирилган. Расмда кўк нукталар билан умумлаштириш принциpigа асосан аниқланган $\bar{y}$ норавшан тўпламнинг элементлари, яшил ранг билан эса аниқланган нукталарнинг энг юқорилари оркали айланиб ўтувчиси - $\bar{y}$ нинг мансублик функцияси кўрсатилган. Натижанинг мансублик функцияси озгина чапга эгилган эгри чизикли трапеция шаклига эга.

4-мисол натижалари

$y^* = x_1^* \cdot x_2^*$	2	3	4	6	8	9	12	16	24	32
x_1^*	1	1	1	2	2	3	1	2	4	3
x_2^*	2	3	4	2	3	2	8	4	2	3
$\mu_{\bar{x}_1}(x_1^*)$	0	0	0	1	1	1	0	1	0	1
$\mu_{\bar{x}_2}(x_2^*)$	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1
$\min(\mu_{\bar{x}_1}(x_1^*), \mu_{\bar{x}_2}(x_2^*))$	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0
$\mu_{\bar{y}}(y^*)$	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0



13.7-расм. 4-мисолга оид чизма.

Зоданинг умумлаштириш принципини қўллаш қуйидаги иккита қийинчилик билан боғлиқ:

1. Ҳисоблашларнинг ҳажми катталиги, яъни қайта ишланиши зарур бўлган норавшан тўпламдаги элементлар сони $P_1 \cdot P_2 \cdot \dots \cdot P_n$ га тенг, бу ерда P_i - норавшан i -аргумент берилган нуқталар сони, $i = 1, n$;

2. Натижавий норавшан тўплам элементларининг юкори нуқталари бирлаштирувчи эгри чизикни ўтказиш зарурлиги.

Қулайроқ бўлиб α -сатҳли умумлаштириш принципини қўллаш ҳисобланади. Ушбу ҳолда норавшан сонлар α -сатҳлари тўпламлар бўйича ажратилган кўринишда ифодаланади:

$$\bar{x} = \bigcup_{\alpha \in [0,1]} (\underline{x}_\alpha, \bar{x}_\alpha),$$

бу ерда $\underline{x}_\alpha, \bar{x}_\alpha$ - аргумент $\bar{x}$ нинг α -сатҳдаги минимал (максимал) қиймати.

27-таъриф. α -сатҳли умумлаштириш принципи. Агар n мустақил ўзгарувчилардан функция $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ бўлса ва x_i аргументлар

$$\bar{x} = \bigcup_{\alpha \in [0,1]} (\underline{x}_{i,\alpha}, \bar{x}_{i,\alpha}), \quad i = 1, n$$

норавшан сонлар билан берилган бўлса $\bar{y} = f(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n)$ функциянинг қиймати деб:

$$\bar{y} = \bigcup_{\alpha \in [0,1]} (\underline{y}_\alpha, \bar{y}_\alpha)$$

норавшан сонга айтилади, бу ерда

$$\underline{y}_\alpha = \inf_{x_i \in [\underline{x}_{i,\alpha}, \bar{x}_{i,\alpha}]} (f(x_{1,\alpha}, x_{2,\alpha}, \dots, x_{n,\alpha}))$$

ва

$$\bar{y}_\alpha = \sup_{x_i \in [\underline{x}_{i,\alpha}, \bar{x}_{i,\alpha}]} (f(x_{1,\alpha}, x_{2,\alpha}, \dots, x_{n,\alpha}))$$

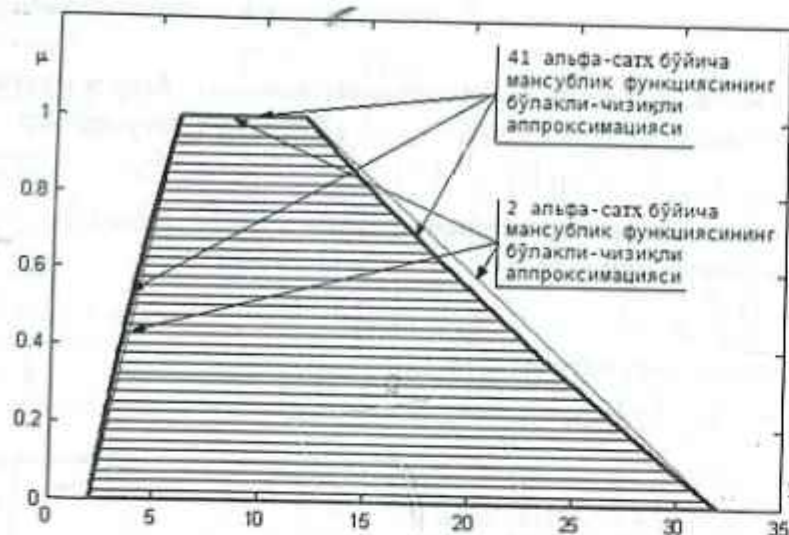
Умумлаштиришнинг α -сатҳли принципини қўллаш ҳар бир α -сатҳ учун қуйидаги оптималлаш вазифасини ечишга олиб келади: аргументлари мос α -сатҳли тўпламлардан қийматларни қабул қиладиган шартга асосан $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ функциянинг минимал ва максимал қийматларини топиш. Ҳисоблашларда зарур бўлган аниқликни таъминлайдиган микдордаги α -сатҳлар танланади.

5-мисол. Умумлаштиришнинг α -сатҳли принципини қўллаб 4-мисолдаги масалани ечиш.

Қуйидаги иккита α -сатҳдан фойдаланамиз: $\{0,1\}$. Бундока аргумент-лар қуйидагича бўлади: $\bar{x}_1 = (1,4)_0 \cup (2,3)_1$ ва $\bar{x}_2 = (2,8)_0 \cup (3,4)_1$. Умумлаштиришнинг α -сатҳли принципага асосан: $\bar{y}_1 = (2,32)_0 \cup (6,12)_1$. 13.8-расмда иккита норавшан сонни кўпайтириш натижаси $\bar{y} = \bar{x}_1 \cdot \bar{x}_2$ кўрсатилган: қизил горизонтал чизиклар билан α -кесимлар тасвирланган, ингичка қизил чизик билан эса норавшан $\bar{y}$ сон мансублик функциясининг бўлакли-чизикли аппроксимацияси кўрсатилган.

Норавшан умумлаштиришнинг натижаси α -сатҳларининг сони ортганда қандай ўзгаришини кўрайлик. 13.8-расмда $\bar{x}_1$ ва $\bar{x}_2$ аргументлари 41 α -сатҳда берилгандаги норавшан $\bar{y}$ сон кўрсатилган. Кўк горизонтал чизиклар билан норавшан тўпламнинг α -сатҳлари, қалин кўк чизик билан 41 α -сатҳ учун норавшан $\bar{y}$ сон мансублик функциясининг бўлакли-чизикли аппроксимацияси кўрсатилган. 13.7- ва 13.8- расм-

ларни таққослаб 26- ва 27-таърифлар бўйича натижалар бир-бирига яқинлигини кўришимиз мумкин.



13.8-расм. 5-мисолга оид чизма.

Умумлаштиришнинг α -сатхли принципини қўллаш норавшан сонлар устида арифметик амалларни бажариш қоидаларини олиш имкониятини беради. Мусбат норавшан сонлар учун арифметик амалларни бажариш қоидалари 13.3-жадвалда келтирилган. Ушбу қоидаларни ҳар бир α -сатх учун қўллаш зарур.

13.3-жадвал

Мусбат норавшан сонлар учун арифметик амалларни бажариш қоидалари (ҳар бир α -сатх учун)

Арифметик амал	$\underline{y}$	$\bar{y}$
$\bar{y} = \bar{x}_1 + \bar{x}_2$	$\underline{x}_1 + \underline{x}_2$	$\bar{x}_1 + \bar{x}_2$
$\bar{y} = \bar{x}_1 - \bar{x}_2$	$\underline{x}_1 - \underline{x}_2$	$\bar{x}_1 - \bar{x}_2$
$\bar{y} = \bar{x}_1 \cdot \bar{x}_2$	$\underline{x}_1 \cdot \underline{x}_2$	$\bar{x}_1 \cdot \bar{x}_2$
$\bar{y} = \frac{\bar{x}_1}{\bar{x}_2}$	$\frac{\underline{x}_1}{\underline{x}_2}$	$\frac{\bar{x}_1}{\bar{x}_2}$

13.5. Норавшан муносабатлар ва уларнинг хоссалари

30-таъриф. $x_1, x_2, \dots, x_n$ тўпلامдаги $\bar{R}$ норавшан муносабат деб $x_1, x_2, \dots, x_n$ декарт кўпайтмасининг норавшан ост тўпلامига айтилади. $\mu_{\bar{R}}(x_1, x_2, \dots, x_n)$ мансублик даражаси $(x_1, x_2, \dots, x_n), x_i \in X_i, i = \overline{1, n}$ элементлар орасидаги $\bar{R}$ муносабатнинг бажарилиш даражасини кўрсатади.

Бинар норавшан муносабатлар иккита кўпхаднинг декарт кўпайтмаси сифатида берилади. Ушбу кўпхадларни X ва Y лар оркали белгилаймиз. Бунда $X \times Y$ даги $\bar{R}$ бинар норавшан муносабатларни бериш куйидаги учликларни кўрсатишдан иборат бўлади: $(x, y, \mu_{\bar{R}}(x, y))$, бу ерда $x \in X, y \in Y$, ёки, шунинг ўзи бўлган, $(x, y) \in X \times Y$.

5-мисол. $x \approx y$ (« x тақрибан y га тенг») норавшан муносабатни кўрсатинг.

Норавшан муносабатни куйидаги матрица кўринишида бериш қулай:

$$\bar{R} = \begin{matrix} & \begin{matrix} 0 & 1 & 2 & 3 \end{matrix} & \leftarrow y \times \downarrow \\ \begin{matrix} \downarrow x \times \\ 0 \\ 1 \\ 2 \\ 3 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 0,5 & 0,2 & 0,1 \\ 0,5 & 1 & 0,6 & 0,3 \\ 0,2 & 0,6 & 1 & 0,8 \\ 0,1 & 0,3 & 0,8 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

$X=[0,3]$ ва $Y=[0,3]$ узлуксиз тўпلامлар учун норавшан муносабатларни куйидаги мансублик функцияси билан бериш мумкин: $\mu_{\bar{R}}(x, y) = e^{-0,2(x-y)^2}$. Дискрет ва узлуксиз тўпلامлардаги норавшан $x \approx y$ (« x тақрибан y га тенг») муносабатлар 13.9-расмда кўрсатилган.

6-мисол. « x анча кам у дан» норавшан муносабатни кўрсатинг. Айтайлик $x, y \in \{0,1,2,3\}$. Бу ҳолда норавшан муносабатни куйидаги матрица кўринишида бериш мумкин:

$$\bar{R} = \begin{matrix} & \begin{matrix} 0 & 1 & 2 & 3 \end{matrix} & \leftarrow y \times \downarrow \\ \begin{matrix} \downarrow x \times \\ 0 \\ 1 \\ 2 \\ 3 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & 0,2 & 0,6 & 1 \\ 0 & 0 & 0,2 & 0,6 \\ 0 & 0 & 0 & 0,2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

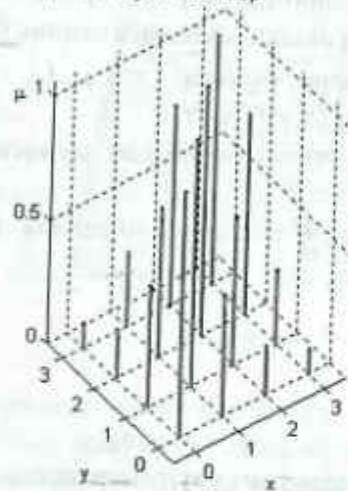
Узлуксиз $X=[0,3]$ и $Y=[0,3]$ кўпхадлар учун « x анча у дан кам» норавшан муносабатни куйидаги мансублик функцияси билан аниқлаш мумкин:

$$\mu_{\bar{R}}(x, y) = \begin{cases} 0, & \text{агар } x \geq y \\ \frac{1}{1+5/(x-y)}, & \text{агар } x < y \end{cases}$$

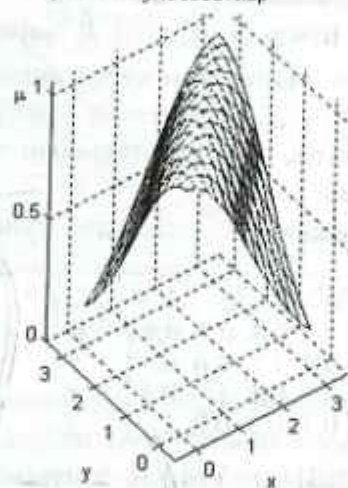
Дискрет ва узлуксиз тўпламлардаги норавшан “х анча у дан кам” муносабатлар 13.10-расмда кўрсатилган.

Мисоллардан кўриниб турганидек, норавшан муносабатлар анъанавий муносабатларга нисбатан юқорироқ мослашувчанликка эга. Улар муносабатларнинг бажарилиш фактинигина эмас, балки бажарилиш даражасини ҳам кўрсатиш имконини беради. Бу нарса кўплаб амалий масалалар учун муҳим аҳамиятга эга.

а) дискрет тўпламларда норавшан муносабатлар

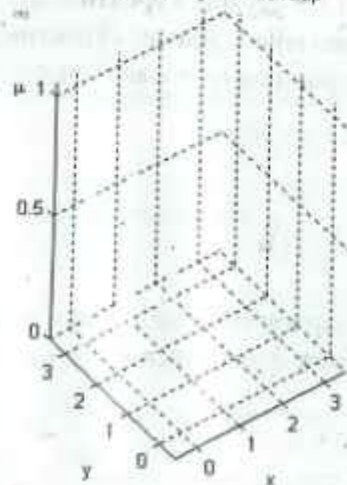


б) узлуксиз тўпламларда норавшан муносабатлар

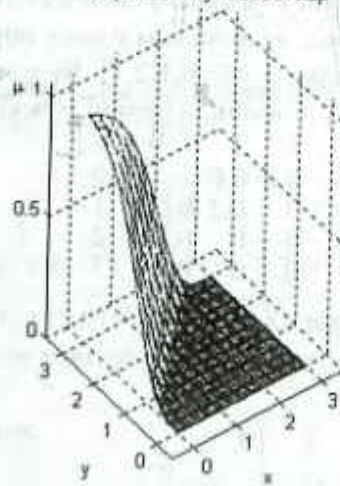


13.9-расм. $\approx_y$ («х тақрибан у га тенг») норавшан муносабат.

а) дискрет тўпламларда норавшан муносабатлар



б) узлуксиз тўпламларда норавшан муносабатлар



13.10-расм. «х анча кам у дан» норавшан муносабат.

7-мисол. Куйидаги {украинлар (У), чехлар (Ч), австрияликлар (А), немислар (Н)} учун «ўхшаш менталитет» муносабатини беринг.

Оддий, норавшан бўлмаган муносабатлардан фойдаланиш ўхшаш менталитетли миллатларнинг фақат битта жуфтлигини (немислар ва австрияликлар) кўрсатиш имкониятини беради. Ушбу муносабат билан чехлар немисларга украинларга нисбатан яқинроқ эканлиги тўғрисидаги фактни акс эттирмайди. Норавшан муносабатлар бундай маълумотни осон тақдим қилиши мумкин:

$$\tilde{R} = \begin{matrix} & \begin{matrix} \text{У} & \text{Ч} & \text{А} & \text{Н} \end{matrix} \\ \begin{matrix} \text{У} \\ \text{Ч} \\ \text{А} \\ \text{Н} \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 0,4 & 0,6 & 0,1 \\ 0,4 & 1 & 0,4 & 0,3 \\ 0,2 & 0,4 & 1 & 0,8 \\ 0,1 & 0,3 & 0,8 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

31-таъриф. X ва Y тўпламлардаги $\tilde{R}$ норавшан муносабатнинг эгаси (таркатувчиси) деб $X \times Y$ кўринишдаги декарт кўпайтмасининг ост тўпламига айтилади: $\text{supp } \tilde{R} = \{(x, y) : (x, y) \in X \times Y, \mu_{\tilde{R}}(x, y) > 0\}$.

Норавшан муносабат эгасига норавшан муносабатларининг бажарилиш даражаси $\tilde{R}$ нолга тенг бўлмаган $(x, y) \in X \times Y$ жуфтликларни боғловчи одатдаги муносабат деб қараш мумкин. Норавшан муносабатларнинг α -кесимларидан фойдаланиш кўпроқ мақсадга мувофиқ, уларнинг таърифи α -сатҳлар кўпхадларининг таърифига ўхшаш.

32-таъриф. $X \times Y$ даги $\tilde{R}$ норавшан муносабатнинг α -кесими деб норавшан $\tilde{R}$ муносабатнинг бажарилиш даражаси α дан кичик бўлмаган ҳамма $(x, y) \in X \times Y$ жуфтликларни боғловчи

$R_{\alpha} = \{(x, y) : (x, y) \in X \times Y, \mu_{\tilde{R}}(x, y) \geq \alpha\}$ кўринишидаги одатдаги боғланишга айтилади.

33-таъриф. Агар ҳар қандай $x \in X$ учун $\mu_{\tilde{R}}(x, x) = 1$ тенглик бажарилса $X \times X$ даги $\tilde{R}$ норавшан муносабат рефлексив деб аталади. X чекли кўпхад бўлган ҳол учун $\tilde{R}$ матрица бош диагоналининг ҳамма элементлари 1 га тенг. Рефлекс норавшан муносабатга мисол “тахминан тенг” муносабат бўлиши мумкин.

34-таъриф. Агар ҳар қандай $x \in X$ учун $\mu_{\tilde{R}}(x, x) = 0$ тенглик бажарилса $X \times X$ даги $\tilde{R}$ норавшан муносабат антирефлексив деб аталади. X чекли кўпхад бўлган ҳол учун $\tilde{R}$ матрица бош диагоналининг ҳамма элементлари 0 га тенг. Антирефлекс норавшан муносабатга мисол “анча кўп” муносабат бўлиши мумкин.

35-таъриф. Агар ҳар қандай $(x, y) \in X \times Y$ жуфтлик учун $\mu_{\tilde{R}}(x, y) = \mu_{\tilde{R}}(y, x)$ тенглик бажарилса, $X \times Y$ даги $\tilde{R}$ норавшан муно-

сабат *симметрик* деб аталади. Чекли кўпхадда берилган симметрик норавшан муносабат матричаси ҳам симметрик бўлади.

36-таъриф. Агар ҳар қандай $(x, y) \in X \times Y$ жуфтлик учун $\mu_R(x, y) > 0 \Rightarrow \mu_R(y, x) = 0$ ифода ўринли бўлса, $X \times Y$ даги $\tilde{R}$ норавшан боғланиш *асимметрик* деб аталади. Асимметрик норавшан муносабатга мисол сифатида “анча кўп” муносабатни кўрсатиш мумкин.

37-таъриф. Агар ҳар қандай $(x, y) \in X \times Y$ жуфтлик учун $\mu_R(x, y) > 0 \Rightarrow \mu_R - 1(y, x)$ тенглик бажарилса, $X \times Y$ даги $\bar{R}$ ва $\bar{R} - 1$ норавшан муносабатлар тескари деб аталади. Тескари норавшан муносабатларга “анча катта”-“анча кичик» жуфтлиги мисол бўла олади.

13.6. Норавшан муносабатлар бўйича амаллар

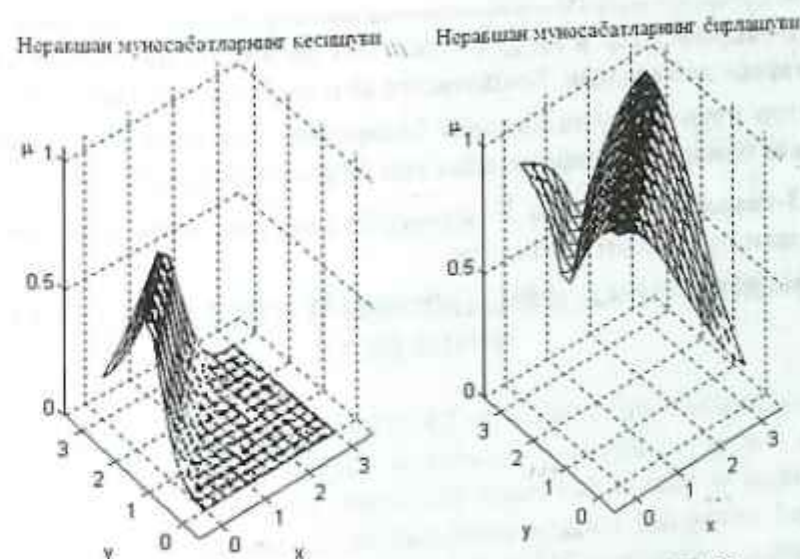
Норавшан муносабатлар бўйича амаллар одатдаги анъанавий амалларга ўхшаш. Лекин, норавшан назарий-қўлхадли амаллар сингари, улар турли усуллар билан бажарилиши мумкин. Қуйида норавшан муносабатлар бўйича бажариладиган амалларнинг таърифлари уч бурчакли норма ва конормалардан фойдаланиб келтирилган (13.3-бўлимга қarang).

38-таъриф. $X \times Y$ да берилган $\tilde{A}$ ва $\tilde{B}$ норавшан муносабатларнинг кесишуви деб, мансублик функцияси $\mu_{\tilde{C}}(x, y) = t(\mu_{\tilde{A}}(x, y), \mu_{\tilde{B}}(x, y))$, $(x, y) \in X \times Y$, бу ерда $t(\cdot)$ - t -норма, бўлган норавшан $\tilde{C} = \tilde{A} \cap \tilde{B}$ муносабатга айтилади.

39-таъриф. $X \times Y$ да берилган $\tilde{A}$ ва $\tilde{B}$ норавшан муносабатларнинг бирлашуви деб, мансублик функцияси $\mu_{\tilde{D}}(x, y) = s(\mu_{\tilde{A}}(x, y), \mu_{\tilde{B}}(x, y))$ ($x, y \in X \times Y$, бу ерда $s(\cdot)$ – s -норма (t -конорма), бўлган норавшан $\tilde{D} = \tilde{A} \cup \tilde{B}$ муносабатга айтилади.

13.11-расмда 5 ва 6-мисоллардан олинган норавшан муносабатларнинг кесишуви ва бирлашуви “х тахминан тенг у га” ва “х анча кам у дан” кўрсатилган. Минимумни ва максимумни аниқлаш амалларидан мос равишда t-норма ва s-норма сифатида фойдаланилган.

40-таъриф. $X \times Y$ да берилган норавшан $\tilde{R}$ муносабатнинг тўлдирувчиси деб, мансублик функцияси $\mu_{\tilde{R}}(x, y) = 1 - \mu_R(x, y)$, $(x, y) \in X \times Y$ бўлган $\tilde{R}$ норавшан муносабатга айтилади.



13.11-расм. Норовишан муносабатлар бўйича амаллар.

41-таъриф. $X \times Z$ в $Z \times X$ да берилган норавашиан $\tilde{A}$ ва $\tilde{B}$ муносабатларнинг максимин композицияси (кўпайтмаси) деб $X \times Y$ тўшламда мансублик функцияси $\mu_{\tilde{G}}(x, y) = \sup_{z \in Z} \min(\mu_{\tilde{A}}(x, z), \mu_{\tilde{B}}(z, y))$, $(x, y) \in X \times Y$, $(x, z) \in X \times Z$, $(z, y) \in Z \times Y$ бўлган $\tilde{G} = \tilde{A} \circ \tilde{B}$ норавашиан муносабатга айтилади. Тўшламлар чекли бўлган ҳолда $\tilde{G} = \tilde{A} \circ \tilde{B}$ норавашиан муносабатларнинг X, Y, Z матрицаси $\tilde{A}$ ва $\tilde{B}$ матрицаларнинг максимин кўпайтмаси сифатида бўлади. Ушбу амал матрицаларнинг оддий кўпайтма ҳосиласи сингари бажарилади, бунда элементларaro кўпайтириш минимумни топишга ва жамлаш максимумни топишга алмаштирилади. Минимакс ва максимумультипликатив композиция амаллари ҳам шунга ўхшаш тарзда аниқланади. Композиция норавашиан лантикий ҳулосада муҳим вазифани бажаради.

фани бажаради.

8-мисол. Куйидаги $\tilde{A} = \begin{bmatrix} 0,1 & 0,2 \\ 0,8 & 1 \end{bmatrix}$ ва $\tilde{B} = \begin{bmatrix} 0,6 & 0,4 \\ 0,5 & 0,3 \end{bmatrix}$ норавшан муносабатлар берилган. Бунда, ушбу норавшан муносабатларнинг максимум ($\tilde{G}_1$), минимум ($\tilde{G}_2$) ва максимумультипликатив ($\tilde{G}_3$) композициялари куйидаги матрицалар билан аникланади: $\tilde{G}_1 = \begin{bmatrix} 0,1 & 0,1 \\ 0,5 & 0,3 \end{bmatrix}$;

42-таъриф. Агар $\tilde{R} \circ \tilde{R} \subseteq \tilde{R}$ бўлса $X \times Y$ даги $\tilde{R}$ норовшан муносабат транзитив деб аталади. Бошқачасига айтганда, ҳар қандай $(x, y) \in X \times Y$ жуфтлик учун $\tilde{R}$ муносабатнинг бажарилиш даражаси $\tilde{R} \circ \tilde{R}$ муносабатнинг бажарилиш даражасидан кам бўлмаслиги керак.

43-таъриф. Норовшан $\tilde{R}$ муносабатнинг транзитив туташуви деб қуйидаги муносабатга айтилади:

$$\tilde{R} = \tilde{R} \cup \tilde{R}^2 \cup \tilde{R}^3 \cup \dots \cup \tilde{R}^n \cup \dots \text{ бу ерда } \tilde{R}^n = \underbrace{\tilde{R} \circ \tilde{R} \circ \dots \circ \tilde{R}}_{n \text{ марта}}.$$

XIV БОБ. FUZZY LOGIC TOOLBOX ПАКЕТИНИНГ ТУЗИЛИШИ

Fuzzy Logic Toolbox – бу MATLAB таркибига кирувчи амалий дастурлар пакетидир. У MATLAB муҳитида, Simulink дастурига интеграллашуви мумкин бўлган, норовшан мантикий ҳулоса ва норовшан таснифлаш (классификация) тизимларини яратиш имконини беради. Fuzzy Logic Toolbox нинг таянч тушунчаси FIS-структура – норовшан ҳулоса тизими (Fuzzy Inference System) ҳисобланади. FIS-структура “киришлар-чиқишлар”ни чизмада кўрсатилган норовшан мантикий ҳулоса схемаси асосида функционал тасвирлашни амалга ошириш учун зарур бўлган барча маълумотларга эга.



Норовшан мантикий ҳулоса.

Белгиланишлар:

X – аниқ кириш вектори;

$\tilde{X}$ – кириш X векторига мос келадиган норавшан тўпламлар вектори;

$\tilde{Y}$ – норавшан тўпламлар вектори кўринишидаги мантикий хулосанинг натижаси;

Y – аниқ чиқиш вектори.

Fuzzy Logic Toolbox қуйидаги дастурий воситаларга эга:

функциялар;

фойдаланувчининг график интерфейсига эга бўлган (GUI) интерактив модуллар;

Simulink пакети учун блоклар;

намоиш қилиш учун мўлжалланган мисоллар.

14.1. Fuzzy модули ёрдамида диалог режимида норавшан тизимлар тузиш

Fuzzy модули Мамдани ва Сугэно турдаги норавшан тизимларни қуриш имконини беради. Мамдани турдаги тизимларда билимлар базаси “Агар x_1 =паст ва x_2 =ўртача бўлса, y =баланд” кўринишидаги қоидалардан ташкил топган. Сугэно турдаги тизимларда билимлар базаси “Агар x_1 =паст ва x_2 =ўртача бўлса, $y=a_0+a_1x_1+a_2x_2$ » кўринишидаги қоидалардан ташкил топган. Шундай қилиб, Мамдани ва Сугэно турдаги норавшан тизимлар ўртасидаги фарқ билимлар базасини ташкил қилувчи қоидаларда чиқиш ўзгарувчисини бериш усулидир. Мамдани турдаги тизимларда чиқиш ўзгарувчисининг қиймати норавшан термлар орқали берилади, Сугэно турдаги тизимларда эса чиқиш ўзгарувчисининг қиймати кириш ўзгарувчиларининг қизикли комбинацияси кўринишида бўлади.

14.2. Мамдани турдаги тизимларни лойиҳалаш

Мамдани турдаги тизимларни лойиҳалашни асосий этапларини $y = x_1^2 \cdot \sin(x_2 - 1)$, $x_1 \in [-7.3]$, $x_2 \in [-4.4, 1.7]$ боғланишни моделловчи норавшан мантикий хулоса тизимини лойиҳалаш мисолида кўрайлик. Лойиҳалашни берилган боғланишнинг график тасвири асосида олиб борамиз.

$y = x_1^2 \cdot \sin(x_2 - 1)$, боғланишнинг уч ўлчамли график тасвирини $x_1 \in [-7.3]$, $x_2 \in [-4.4, 1.7]$ соҳада қуриш учун қуйидаги дастурни тузамиз:

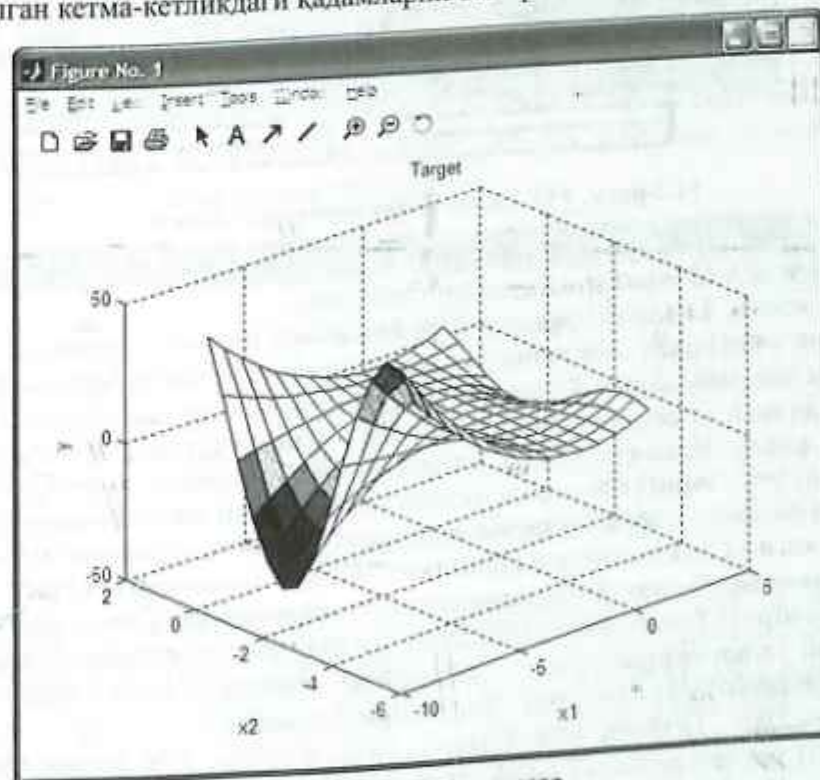
$y = x1^2 * \sin(x2 - 1)$ функциянинг графигини

% $x1 \in [-7.3]$ и $x2 \in [-4.4, 1.7]$ соҳада қуриш.

$n=15$;

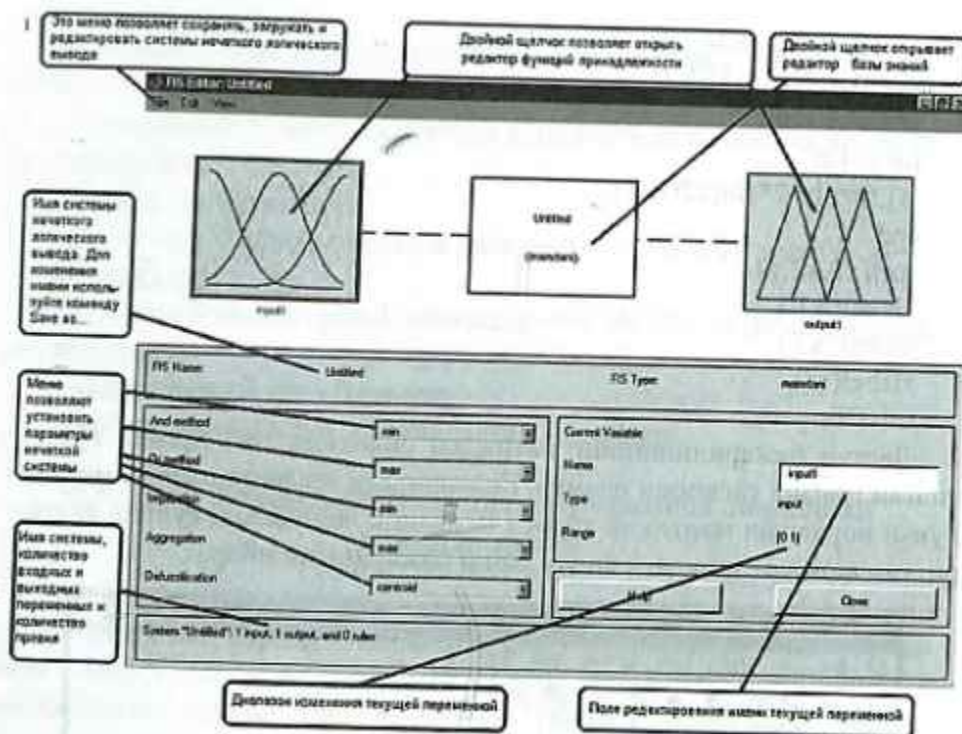
```
x1=-7:10/(n-1):3;
x2=-4.4:6.1/(n-1):1.7;
y=zeros(n,n);
for j=1:n
y(j,:)=x1.^2*sin(x2(j)-1);
end
surf(x1,x2,y)
xlabel('x1')
ylabel('x2')
zlabel('y')
title('Target');
```

Дастур бажарилишининг натижаси сифатида 14.1-расмда кўрсатилган график тасвирни оламиз. Келтирилган график тасвирга мос келувчи норавшан мантикий хулоса тизимини лойиҳалаш қуйида келтирилган кетма-кетликдаги қадамларни бажаришдан иборат.



14.1-расм. Эталон юза.

1-қадам. Асосий fis-редакторни юклаш учун командалар сатрида fuzzy сўзини терамиз ва «Enter» тугмасини босамиз. Шундан кейин очиладиган янги график ойна 14.2-расмда кўрсатилган.



14.2-расм. FIS-Editor редакторининг ойнаси.

2-қадам. Иккинчи кириш ўзгарувчисини қўшамиз. Бунинг учун **Edit** менюсида **Add input** командасини танлаймиз.

3-қадам. Биринчи кириш ўзгарувчисининг номини ўзгартирамиз. Бунинг учун **input1** блокнинг устида сичқончанинг чап тугмасини бир марта босамиз, жорий ўзгарувчининг номи сифатида тахрирлаш майдонида янги **x1** белгиланишни киритамиз **<Enter>** тугмасини босамиз.

4-қадам. Иккинчи кириш ўзгарувчисининг номини ўзгартирамиз. Бунинг учун **input2** блокнинг устида сичқончанинг чап тугмасини бир марта босамиз, жорий ўзгарувчининг номи сифатида тахрирлаш майдонида янги **x2** белгиланишни киритамиз **<Enter>** тугмасини босамиз.

5-қадам. Чикш ўзгарувчисининг номини ўзгартирамиз. Бунинг учун **output1** блокнинг устида сичқончанинг чап тугмасини босамиз, жорий ўзгарувчининг номини тахрирлаш майдонида янги **y** белгиланишни киритамиз ва **<Enter>** тугмасини босамиз.

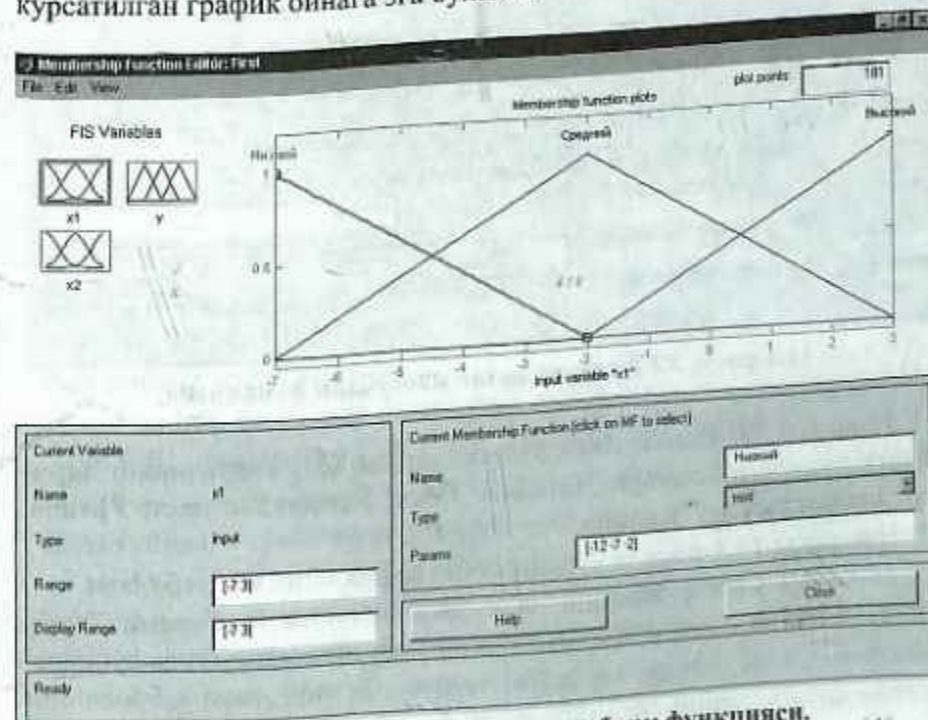
6-қадам. Тизимга ном берамиз. Бунинг учун **File** менюсидаги **Export** ост менюсида **To disk** командасини танлаймиз, файлнинг номини киритамиз, масалан, **first**.

7-қадам. Мансублик функциясининг тахрирлагичига ўтамиз. Бунинг учун сичқончанинг чап тугмасини **x1** блокнинг устига икки марта босамиз.

8-қадам. **x1** ўзгарувчининг ўзгариш диапазонини берамиз. Бунинг учун **Range** майдонида **-7 3** ни терамиз ва **<Enter>** тугмасини босамиз.

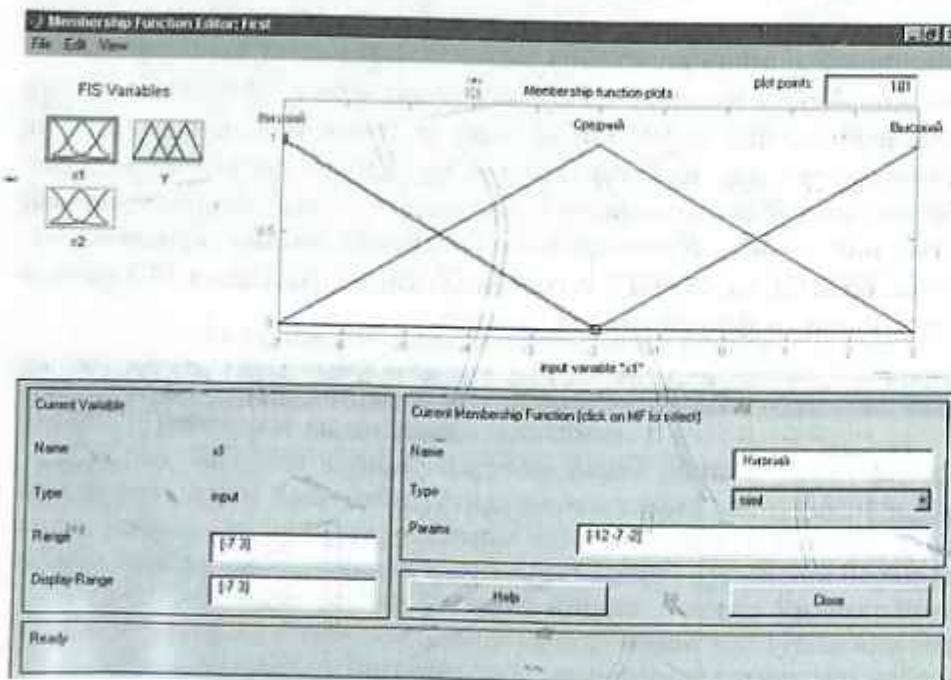
9-қадам. **x1** ўзгарувчининг мансублик функциясини берамиз. Ушбу ўзгарувчининг лингвистик баҳолаш учун учбурчак кўринишидаги мансублик функциясига эга бўлган 3 термдан фойдаланамиз. Бунинг учун **Edit** менюсидаги **Add MFs...** командани танлаймиз. Натижада мансублик функциясининг тури ва сонини танлаш имкониятини берувчи диалог ойна очилади. Бу сукут бўйича учбурчак мансублик функцияларига эга бўлган 3 термдир. Шунинг учун **<Enter>** тугмасини босамиз.

10-қадам. Термларни **x1** ўзгарувчи билан номлаймиз. Бунинг учун биринчи мансублик функциясининг графигида сичқончанинг чап тугмасини бир марта босамиз (14.3-расмга қаранг). Кейин **Name** майдонида термнинг номини киритамиз, масалан, **Паст** ва **<Enter>** тугмасини босамиз. Кейин иккинчи мансублик функцияси графигининг устида сичқончанинг чап тугмасини босамиз ва **Name** майдонида термнинг номини киритамиз, масалан, **Ўртача**, ва **<Enter>** тугмасини босамиз. Учинчи мансублик функцияси графигининг устида сичқончанинг чап тугмасини босиб ва **Name** майдонида термнинг номини киритамиз, масалан, **Баланд**, ва **<Enter>** тугмасини босамиз. Натижада 14.3-расмда кўрсатилган график ойнага эга бўламиз.



14.3-расм. **x1** ўзгарувчининг мансублик функцияси.

11-қадам. X2 ўзгарувчининг мансублик функциясини берамиз. Ушбу ўзгарувчини лингвистик баҳолаш учун гаусс турдаги мансублик функциясига эга бўлган 5 термдан фойдаланамиз. Бунинг учун x2 блокнинг устида сичқончанинг чап тугмасини босиб x2 ўзгарувчини активлаштирамиз. X2 ўзгарувчининг ўзгариш диапазонини берамиз. Бунинг учун **Range** майдонида **-4.4 1.7** ни тирамиз ва **<Enter>** тугмасини босамиз. Кейин **Edit** менюсида **Add MFs....** командани танлаймиз. Ҳосил бўладиган диалог ойнасининг **MF type** майдонида мансублик функциясининг турини **gaussmf** ва **Number of MFs** майдонида 5 термин танлаймиз. Кейин **<Enter>** тугмасини босамиз.



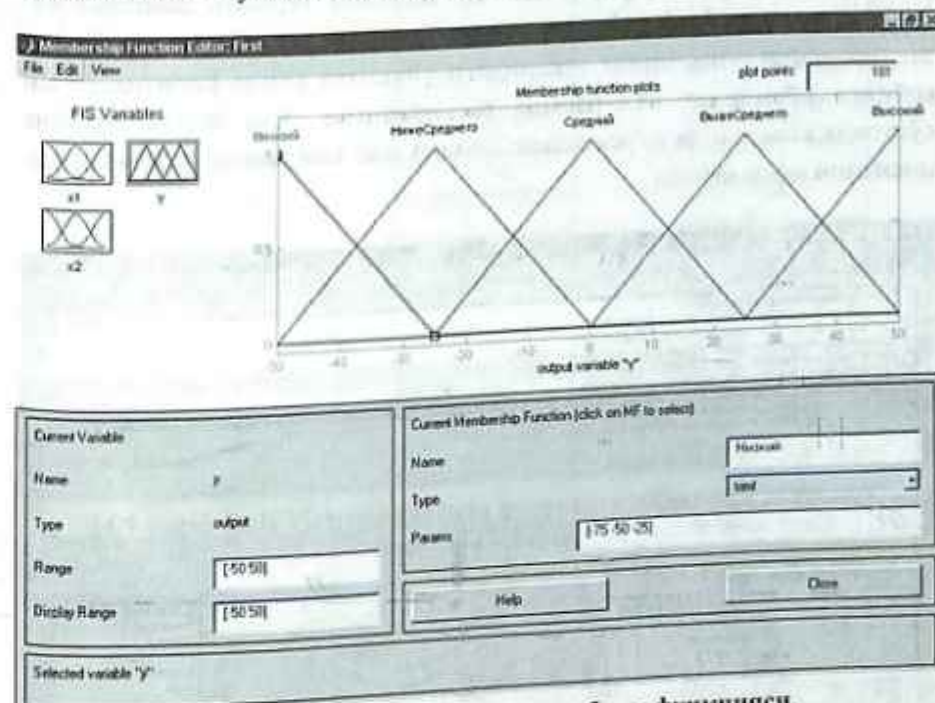
14.4-расм. X2 ўзгарувчининг мансублик функцияси.

12-қадам. 10-қадамдагига ўхшаш тарзда x2 ўзгарувчининг термларига қуйидаги номларни берамиз: **Паст, Ўртачадан паст, Ўртача, Ўртачадан баланд, Баланд**.

Натижада 14.4-расмда кўрсатилган график ойна ҳосил бўлади.

13-қадам. у ўзгарувчининг мансублик функциясини берамиз. Ушбу ўзгарувчини лингвистик баҳолаш учун учбурчак мансублик функциясига эга бўлган 5 термдан фойдаланамиз. Бунинг учун у блокнинг устида сичқончанинг чап тугмасини босиб у ўзгарувчини активлаш-

тирамиз. у ўзгарувчининг ўзгариш диапазонини берамиз. Бунинг учун **Range** майдонида **-50 50** ни тирамиз (14.5-расм) ва **<Enter>** тугмасини босамиз, кейин **Edit** менюсида **Add MFs....** командани танлаймиз. Ҳосил бўладиган **Number of MFs** майдонида 5 термин танлаймиз. Кейин **<Enter>** тугмасини босамиз.



14.5-расм. у ўзгарувчининг мансублик функцияси.

14-қадам. 10-қадамдагига ўхшаш тарзда у ўзгарувчининг термларига қуйидаги номларни берамиз: **Паст, Ўртачадан паст, Ўртача, Ўртачадан баланд, Баланд**. Натижада 14.5-расмда тасвирланган график ойнани ҳосил қиламиз.

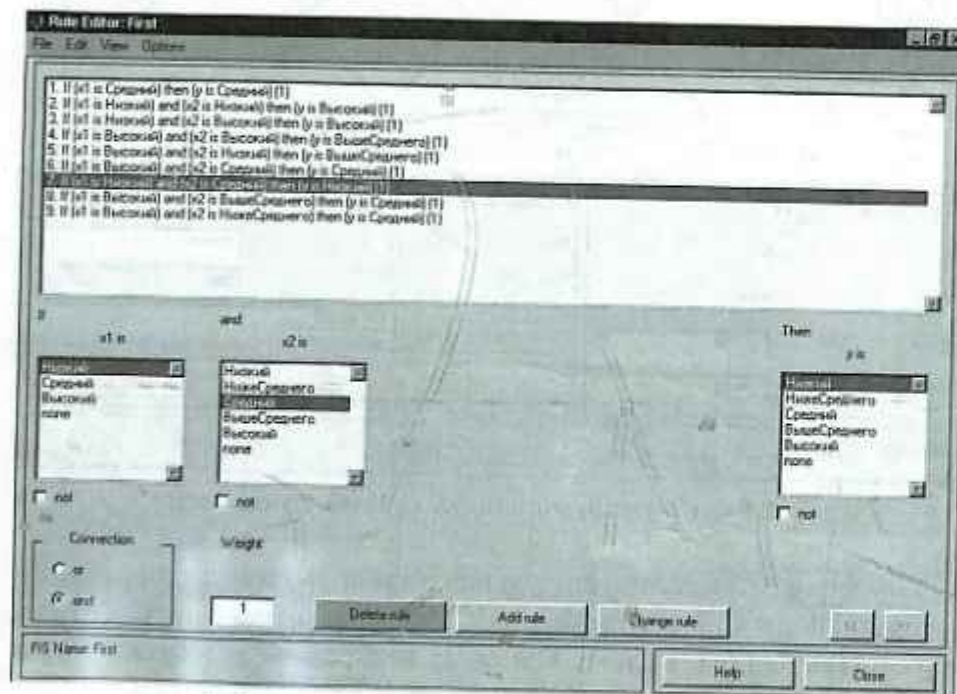
15-қадам. Билимлар базасининг **RuleEditor** тахрирлагичига ўтиш учун **Edit** менюсидаги **Edit rules...** командасини танлаймиз.

16-қадам. 14.1-расмда келтирилган графикни визуал кузатиш асосида қуйидаги тўққизта қонданинг таърифини тузамиз:

1. Агар $x1 = \text{Ўртача}$ бўлса $y = \text{Ўртача}$;
2. Агар $x1 = \text{Паст}$ ва $x2 = \text{Паст}$ бўлса $y = \text{Баланд}$;
3. Агар $x1 = \text{Паст}$ ва $x2 = \text{Баланд}$ бўлса $y = \text{Баланд}$;
4. Агар $x1 = \text{Баланд}$ ва $x2 = \text{Баланд}$ бўлса $y = \text{Ўртачадан Баланд}$;
5. Агар $x1 = \text{Баланд}$ ва $x2 = \text{Паст}$ бўлса $y = \text{Ўртачадан Баланд}$;

6. Агар x_1 =Баланд ва x_2 =Ўртача бўлса y =Ўртача;
7. Агар x_1 =Паст ва x_2 =Ўртача бўлса y =Паст;
8. Агар x_1 =Баланд и x_2 =Ўртачадан Баланд бўлса y =Ўртача;
9. Агар x_1 =Баланд ва x_2 =Ўртачадан Паст бўлса y =Ўртача.

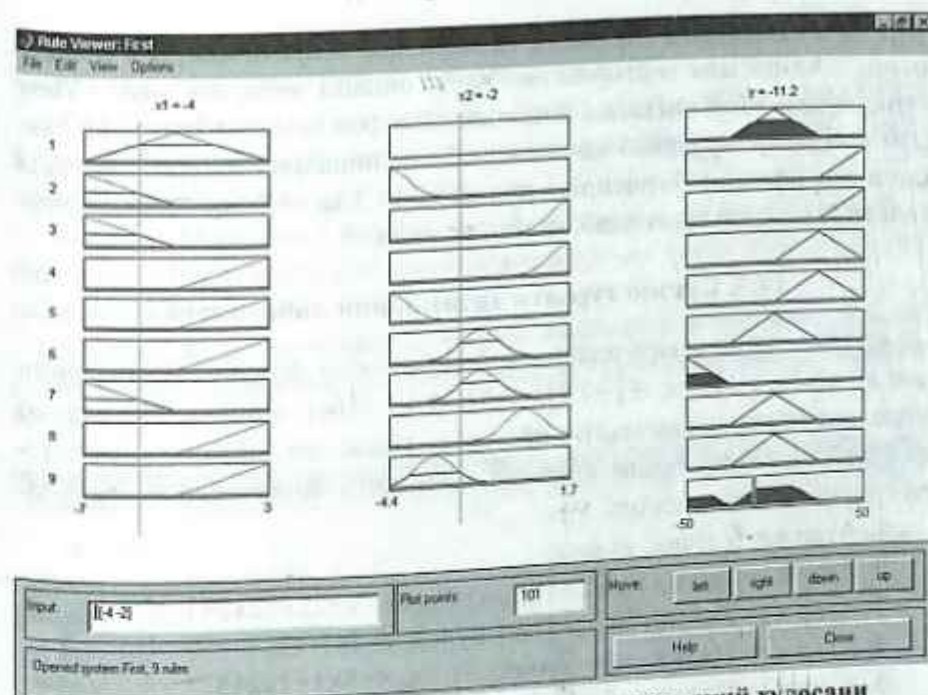
Қондани киритиш учун менюда тегишли термлар комбинациясини танлаш ва **Add rule** тугмасини босиш керак. Билимлар базаси тахрирлагичи ойнасининг юқоридаги тўқкизта қоида киритилгандан кейинги кўриниши 14.6-расмда тасвирланган. Ҳар бир қонданинг сўнггида қавс ичида кўрсатилган сонлар мос қонданинг вазн коэффициентини ифода қилади.



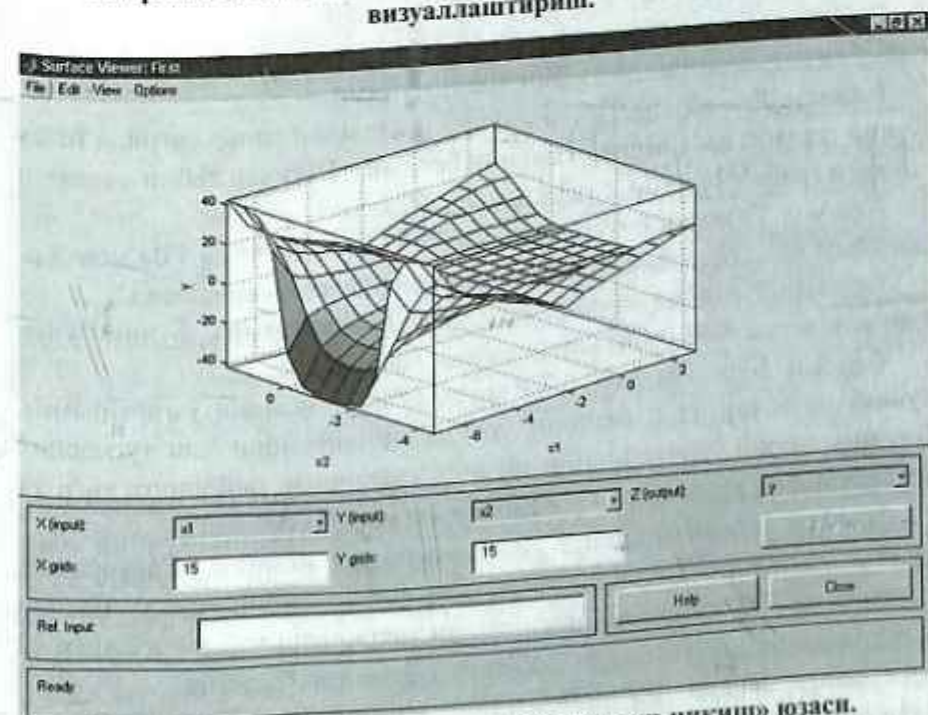
14.6-расм. RuleEditor даги билимлар базаси.

17-қадам. Яратилган тизимни сақлаймиз. Бунинг учун **File** менюсидаги **Export** ост менюсида **To disk** командасини танлаймиз.

Норавшан мантикий хулосани визуаллаштириш ойнаси 14.7-расмда келтирилган. Ушбу ойна **View** менюсидаги **View rules...** командаси билан активлаштирилади. **Input** майдонида кириш ўзгарувчиларининг қийматлари кўрсатилади.



14.7-расм. Rule Viewer ойнасида норавшан мантикий хулосани визуаллаштириш.



14.8-расм. SurfaceViwer ойнасидаги «кириш-чиқиш» юзаси.

Синтез қилинган норавшан тизимга мос келувчи «кириш-чиқиш» юзаси 14.8-расмда келтирилган. Ушбу ойнани чиқариш учун **View** менюсидаги **View surface...** командасидан фойдаланиш зарур. Норавшан коидалар мураккаб полизикли боғланишларни етарли даражада яхши тавсифлаши тўғрисидаги хулосага, 14.1 ва 14.8-расмларда келтирилган юзаларни таққослаб, келиш мумкин.

14.3. Сугэно турдаги тизимларни лойиҳалаш

Сугэно турдаги тизимларни лойиҳалашнинг асосий босқичларини $y = x_1^2 \cdot \sin(x_2 - 1)$, $x_1 \in [-7.3], x_2 \in [-4.4, 1.7]$ боғланишни (14.1-расм) моделловчи норавшан мантикий хулоса тизимини лойиҳалаш мисолида кўрайлик. Ушбу боғланишни моделлашни куйидаги билимлар база-си ёрдамида амалга оширамиз:

1. Агар $x_1 = \text{Ўртача}$, то $y = 0$;
2. Агар $x_1 = \text{Баланд}$ ва $x_2 = \text{Баланд}$ бўлса, $y = 2x_1 + 2x_2 + 1$;
3. Агар $x_1 = \text{Баланд}$ ва $x_2 = \text{Паст}$ бўлса, $y = 4x_1 - x_2$;
4. Агар $x_1 = \text{Паст}$ ва $x_2 = \text{Ўртача}$ бўлса, $y = 8x_1 + 2x_2 + 8$;
5. Агар $x_1 = \text{Паст}$ ва $x_2 = \text{Паст}$ бўлса, $y = 50$;
6. Агар $x_1 = \text{Паст}$ ва $x_2 = \text{Баланд}$ бўлса, $y = 50$.

Сугэно турдаги норавшан мантикий хулоса тизимини лойиҳалаш куйидаги кетма-кетликда бажарилиши мумкин.

1-қадам. **fis** тахрирлагични юклаш учун командалар сатрида **fuzzy** сўзини терамиз ва **<Enter>** тугмасини босамиз. Шундан кейин очилади-ган янги график ойна 14.2-расмда кўрсатилган.

2-қадам. Тизимнинг турини танлаймиз. Бунинг учун **File** менюси-нинг **New fis...** ост менюсида **Sugeno** командасини танлаймиз.

3-қадам. Иккинчи кириш ўзгарувчисини қўшамиз. Бунинг учун **Edit** менюсида **Add input** командасини танлаймиз.

4-қадам. Биринчи кириш ўзгарувчисининг номини ўзгартирамиз. Бунинг учун **input1** блокиннинг устида сичкончанинг чап тугмасини босамиз, жорий ўзгарувчининг номини тахрирлаш майдонига янги **x1** белгиланишни киритамиз ва **<Enter>** тугмасини босамиз.

5-қадам. Иккинчи кириш ўзгарувчисининг номини ўзгартирамиз. Бунинг учун **input2** блокиннинг устида сичкончанинг чап тугмасини босамиз, жорий ўзгарувчининг номини тахрирлаш майдонига янги **x2** белгиланишни киритамиз ва **<Enter>** тугмасини босамиз.

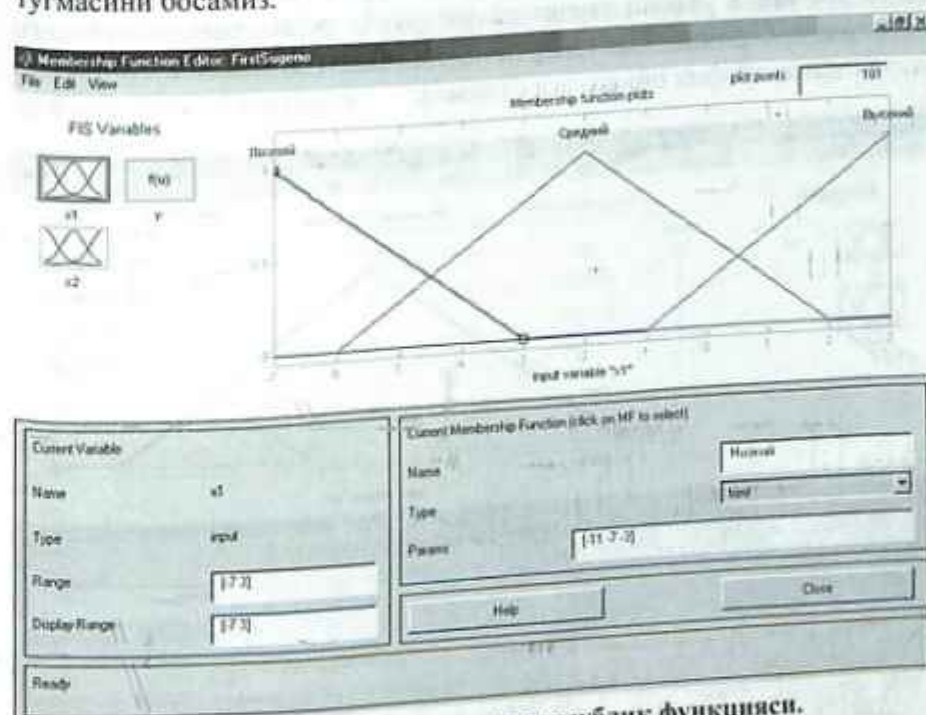
6-қадам. Чикиш ўзгарувчисининг номини ўзгартирамиз. Бунинг учун **output1** блокиннинг устида сичкончанинг чап тугмасини босамиз,

жорий ўзгарувчининг номини тахрирлаш майдонига янги **y** белгила-нишни киритамиз ва **<Enter>** тугмасини босамиз.

7-қадам. Тизимга ном берамиз. Бунинг учун **File** менюсининг **Export** ост менюсида **To disk** командасини танлаймиз ва файлнинг но-мини киритамиз, масалан, **First Sugeno**.

8-қадам. Мансублик функцияларининг тахрирлагичига ўтамиз. Бу-нинг учун **x1** блокиннинг устида сичкончанинг чап тугмасини тўхтовсиз икки марта босамиз.

9-қадам. **x1** ўзгарувчининг ўзгариш диапазонини берамиз. Бунинг учун **Range** майдонига **-7 3** сонларини терамиз (14.9-расм) **<Enter>** тугмасини босамиз.

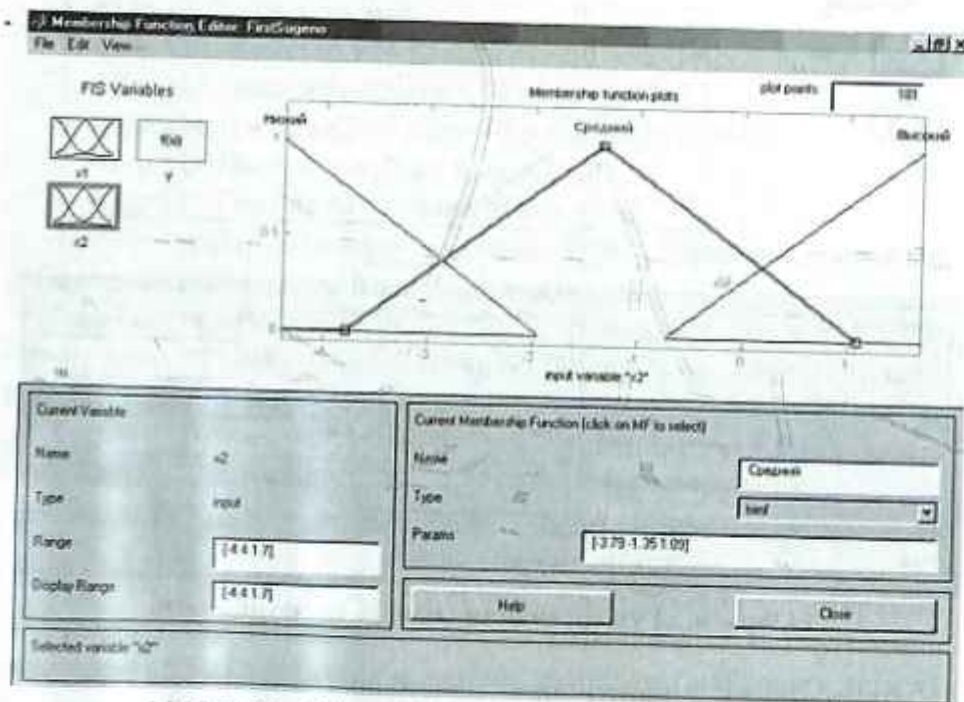


14.9-расм. **x1** ўзгарувчининг мансублик функцияси.

10-қадам. **x1** ўзгарувчининг мансублик функциясини берамиз. Ушбу ўзгарувчини лингвистик баҳолаш учун сукут бўйича ўрнатилган ва учбурчак мансублик функциясига эга бўлган 3 термдан фойдалана-ва **input1** блокиннинг устида сичкончанинг чап тугмасини босамиз, жорий ўзгарувчининг номини тахрирлаш майдонига янги **x1** белгиланишни киритамиз ва **<Enter>** тугмасини босамиз.

Учинчи мансублик функцияси графигининг устида сичқончанинг чап тугмасини босамиз ва **Name** майдонига термининг номини (**Баланд**) киритамиз. Натижада 14.9-расмда кўрсатилган график ойнага эга бўламиз.

11-қадам. **x2** ўзгарувчининг мансублик функциясини берамиз. Ушбу ўзгарувчини лингвистик баҳолаш учун сукут бўйича ўрнатилган ва учбурчак мансублик функциясига эга бўлган 3 термдан фойдаланамиз. Бунинг учун **x2** блокнинг устида сичқончанинг чап тугмасини босиб **x2** ўзгарувчини активлаштирамиз. **x2** ўзгарувчининг ўзгариш диапазонини берамиз. Бунинг учун **Range** майдонида **-4.4 1.7** сонларини киритамиз (14.10-расм) ва **<Enter>** тугмасини босамиз. Аввалги қадамдагига ўхшаш тарзда **x2** ўзгарувчи термларининг куйидаги номларини берамиз: **Паст, Ўртача, Баланд**. Натижада 14.10-расмда кўрсатилган график ойнага эга бўламиз.

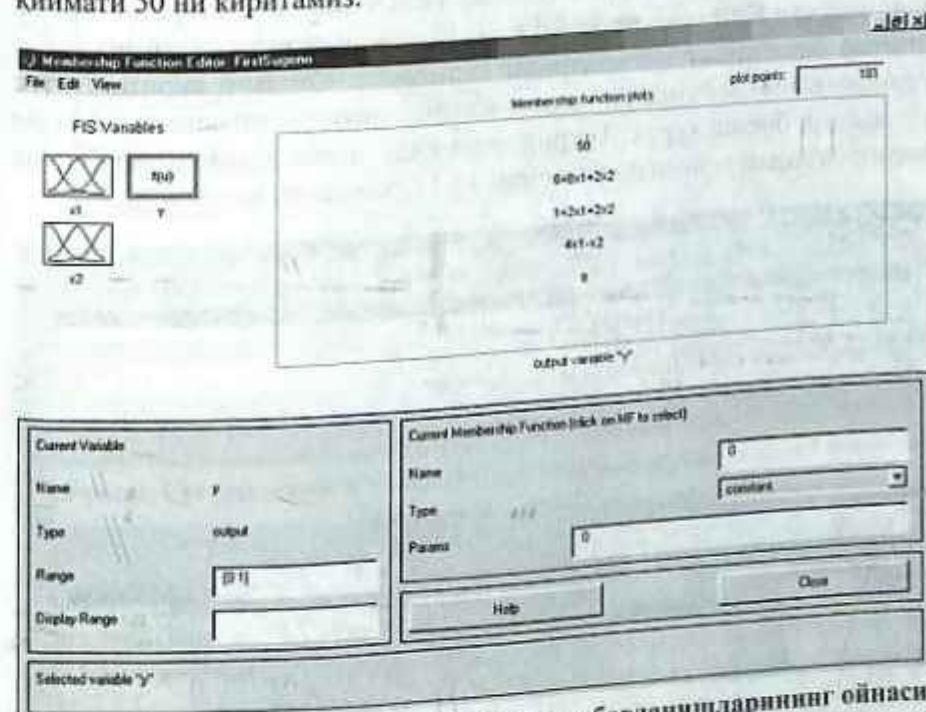


14.10-расм. **x2** ўзгарувчининг мансублик функцияси.

12-қадам. Билимлар базасида келтирилган киришлар ва чиқишлар орасидаги чизикли боғланишларни берамиз. Бунинг учун **y** блокнинг устида сичқончанинг чап тугмасини босиш йўли билан **y** ўзгарувчини активлаштирамиз. Ойнанинг ўнг юқори бурчагида ҳар бири киришлар ва чиқишлар орасидаги битта чизикли боғланишга мос келувчи учта

мансублик функциясининг белгиси ҳосил бўлади. 3.2-ост бўлимнинг бошланишида келтирилган билимлар базасида куйидаги 5 боғланиш кўрсатилган: $y=50$; $y=4x_1-x_2$; $y=2x_1+2x_2+1$; $y=8x_1+2x_2+8$; $y=0$. Шунинг учун яна иккита боғланишни **Edit** менюсидаги **Add Mfs...** кўриниши билан киритамиз. **Ҳосил бўладиган** диалог мандасини танлаш йўли билан киритамиз. **Number of MFs** майдонида 2 ни танлаймиз ва **OK** тугмасини босамиз.

13-қадам. Чизикли боғланишларнинг номлари ва параметрларини берамиз. Бунинг учун биринчи боғланишнинг номи **mf1** нинг устида сичқончанинг чап тугмасини босамиз. Кейин боғланишнинг номини **Name** майдонига ёзамиз, масалан **50**, ва **Type** менюсидаги **Constant** опциясини танлаш йўли билан боғланишнинг тури константа эканлигини ўрнатамиз. Шундан кейин **Params** майдонига параметрнинг қиймати 50 ни киритамиз.



14.11-расм. Чизикли «киришлар-чиқишлар» боғланишларининг ойнаси.

Ўхшаш тарзда иккинчи **mf2** боғланишнинг номини киритамиз, масалан **8+8x1+2x2**. Кейин боғланишнинг тури чизикли эканлигини **Type** менюсидан **Linear** опциясини танлаш йўли билан кўрсатамиз ва **Params** майдонига боғланишнинг **8 2 8** параметрларини киритамиз. Чизикли боғланиш учун параметрларнинг тартиби куйидагича: бирин-

чи параметр – биринчи ўзгарувчининг олдидаги коэффициент, иккинчиси – иккинчи ўзгарувчининг олдидаги коэффициент ва ҳ.к., сўнгги параметр – боғланишнинг эркин ташкил этувчиси.

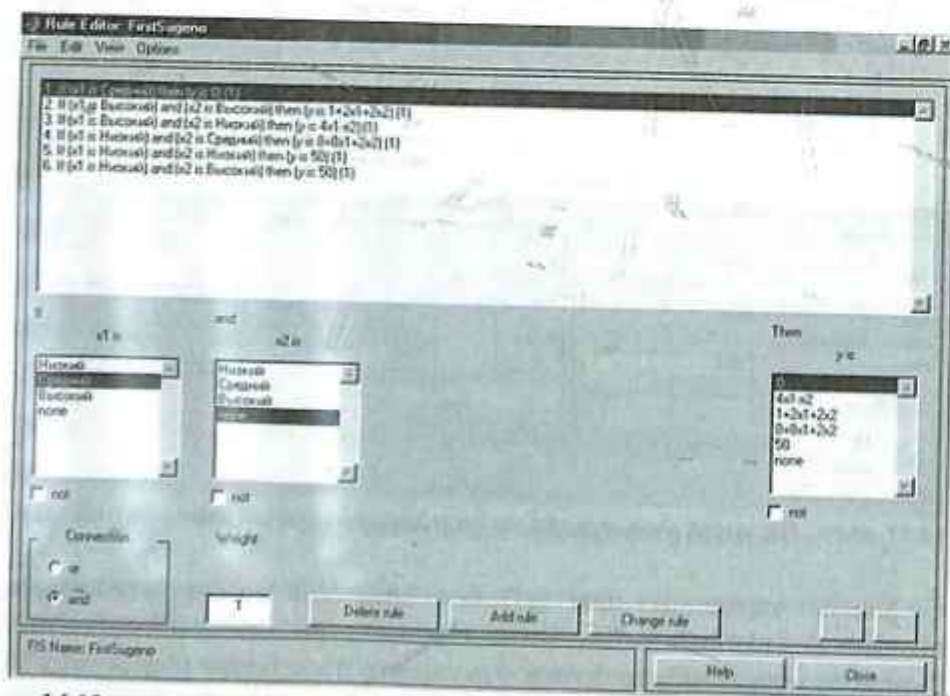
Юкоридагига ўхшаш тарзда учинчи **mf3** боғланишнинг номини, масалан, $1+2x_1+2x_2$, киритамиз, боғланиш чизикли эканлигини кўрсатамиз ва боғланишнинг **2 2 1** параметрларини киритамиз.

Тўртинчи **mf4** боғланиш учун боғланишнинг номини киритамиз, масалан $4x_1-x_2$, боғланишнинг чизикли эканлигини кўрсатамиз ва боғланишнинг **4 -1 0** параметрларини киритамиз.

Бешинчи **mf5** боғланиш учун боғланишнинг номини киритамиз, масалан **0**, боғланишнинг тури константа эканлигини кўрсатамиз ва боғланишнинг **0** параметрини киритамиз.

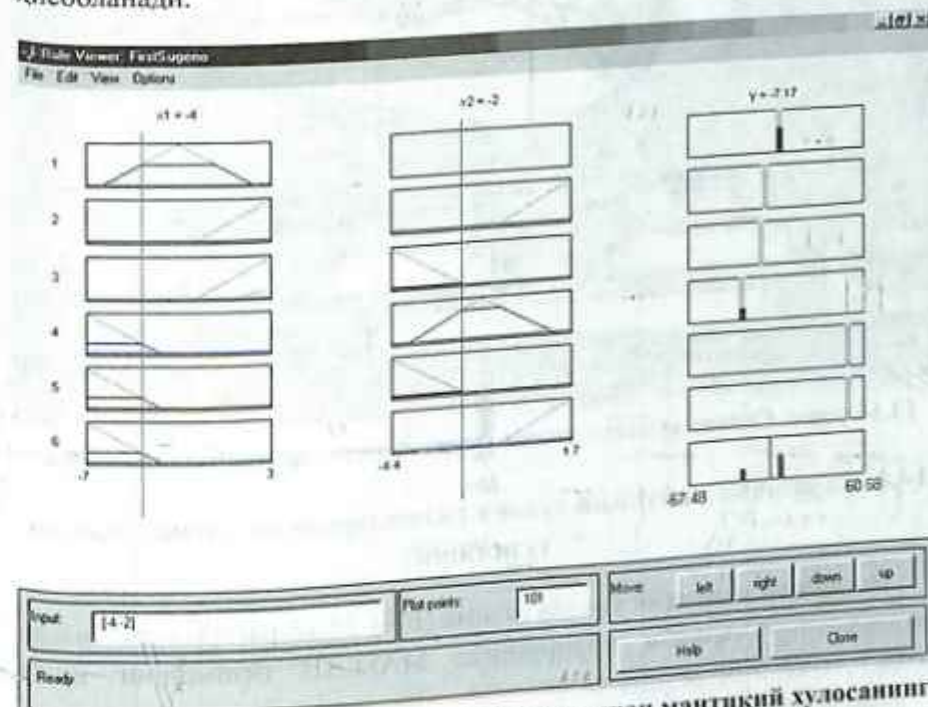
Натижада 14.11-расмда кўрсатилган график ойнага эга бўламиз.

14-қадам. **RuleEditor** билимлар базасининг редакторига ўтамиз. Бунинг учун **Edit** менюсида **Edit rules...** командасини танлаймиз ва билимлар базасининг қондаларини киритамиз. Қондани киритиш учун термлар ва боғланишларнинг мос комбинациясини танлаш ва **Add rule** тугмасини босиш керак. Тахрирлагич ойнасининг ҳамма олтига қонда киритилгандан кейинги кўриниши 14.12-расмда тасвирланган.



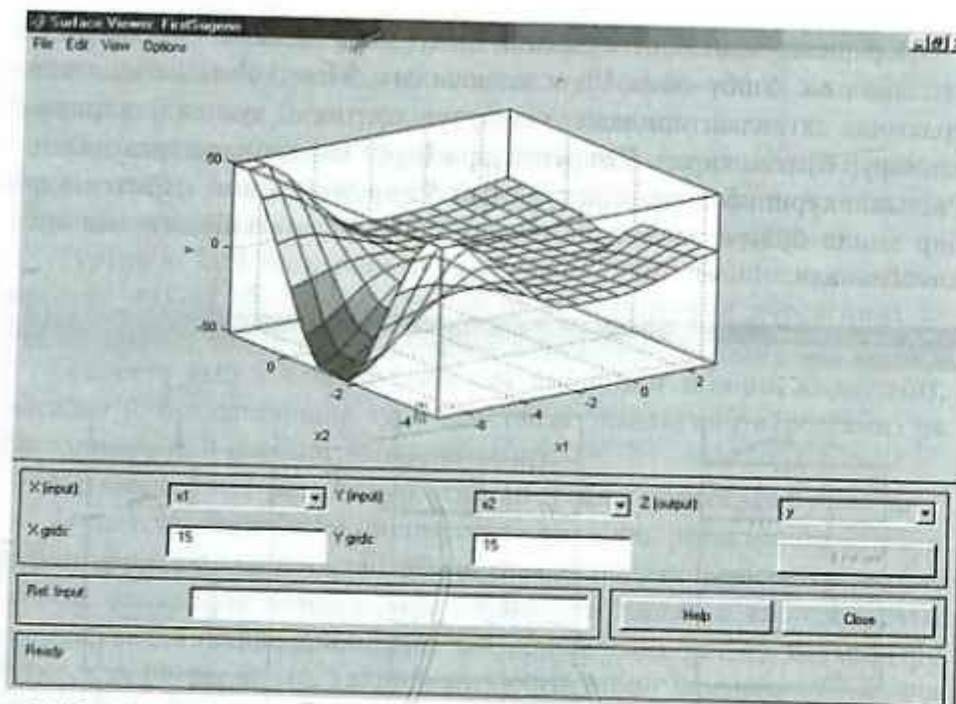
14.12-расм. Сугэно турдаги тизим учун норавшан билимлар базаси.

Норавшан мантикий хулосани визуаллаш ойнаси 14.13-расмда келтирилган. Ушбу ойна **View** менюсидаги **View rules...** командаси ёрдамида активлаштирилади. Улар учун мантикий хулоса бажарилиши зарур бўлган кириш ўзгарувчилари **Input** майдонида кўрсатилади. Расмдан кўриниб турганидек чиқиш ўзгарувчисининг қиймати ҳар бир қонда бўйича хулоса натижаларининг ўртача қиймати сингари ҳисобланади.



14.13-расм. Сугэно турдаги тизим учун норавшан мантикий хулосанинг визуализацияси.

Синтез қилинган норавшан тизимга мос келувчи «киришлар-чиқишлар» юзаси 14.14-расмда келтирилган. Ушбу ойнани чиқариш учун **View** менюсидаги **view surface...** командасидан фойдаланилади. Норавшан қондалар мураккаб ночизикли боғланишларни ҳам етарли даражада яхши тавсифлаши ҳақидаги хулосага 14.1, 14.8 ва 14.14-расмлардаги юзаларни таққослаб келишимиз мумкин. Ушбу ҳолда, Сугэно турдаги модель аниқроқ. Мамдани турдаги моделларнинг афзаллиги улардаги билимлар базаси қондаларининг шаффофлиги ва интуитив тушунарлигидадир. Сугэно турдаги моделларда эса қандай «киришлар-чиқишлар» чизикли боғланишлардан фойдаланиш зарурлиги айрим ҳолларда равшан бўлмайди.



14.14-расм. Сугено турдаги тизим учун «киришлар-чиқишлар» юзаси.

14.4. Норовшан мантикий хулоса тизимларида маълумотларнинг тузилиши

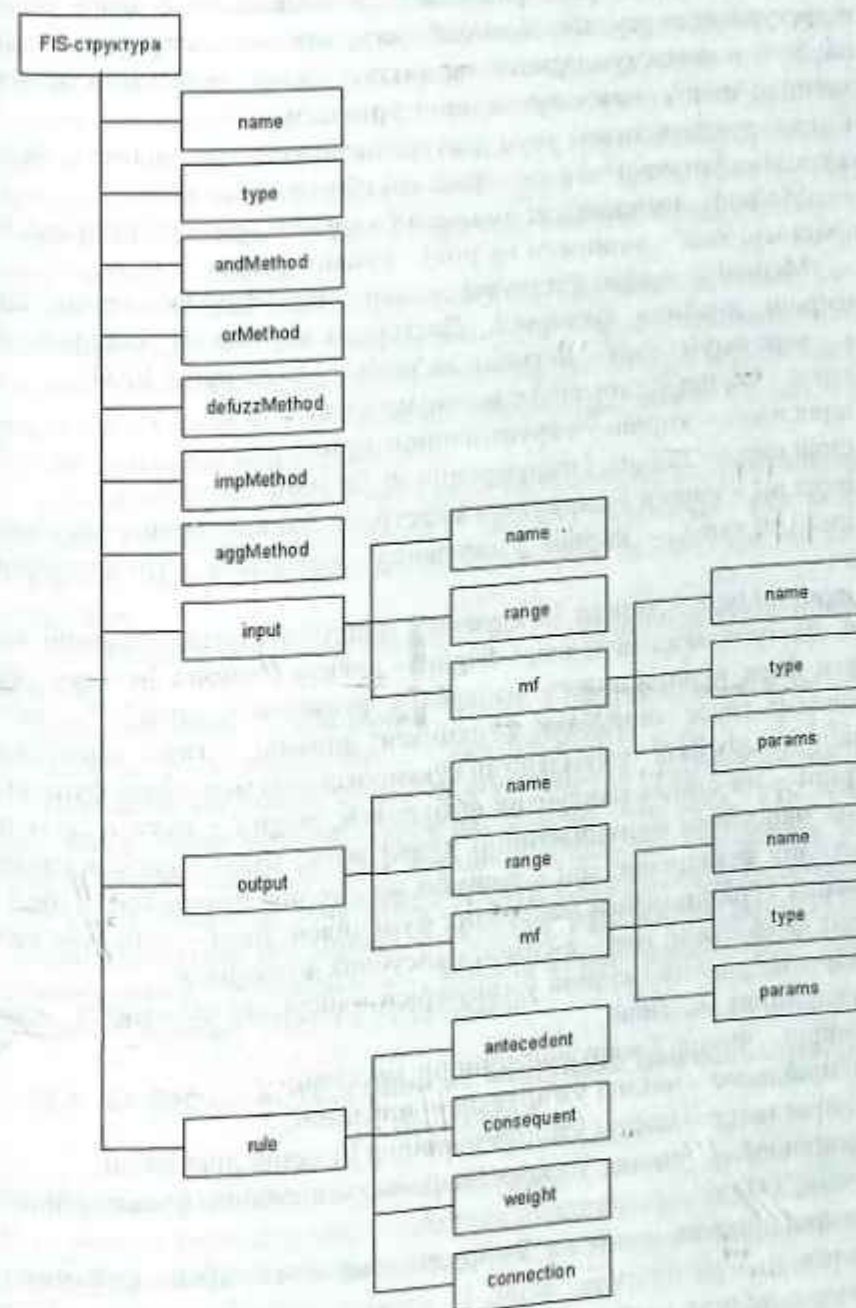
Норовшан мантикий хулоса тизими (FIS) 14.15-расмда кўрсатилган маълумотлар таркиби кўринишида MATLAB тизимининг ишчи соҳасида тақдим қилинади.

Ишчи соҳага FIS ни юклашнинг иккита усули мавжуд:

- **readfis** функцияси ёрдамида дискдан ўқиш;
- асосий **fis**-тахрирлагичдан **File** менюсининг **Export** ост менюсидаги **To workspace** командасини танлаш йўли билан.

Норовшан мантикий хулоса тизими қуйидаги маълумотларни сақлаш учун мўлжалланган:

- name** – норовшан мантикий хулоса тизимининг номи;
- type** – тизимнинг тури. Мумкин бўлган қийматлари «Mamdani» ва «Sugeno»;
- andMethod** – ВА мантикий амалини амалга ошириш. Дастурланган амалга оширишлар: «min» – минимум ва «prod» – кўпайтириш;
- orMethod** – ЁКИ мантикий амалини амалга ошириш. Дастурланган амалга оширишлар: «max» – максимум ва «probor» – эҳтимолий ЁКИ;



14.15-расм. Норовшан мантикий хулоса тизими.

defuzzMethod – Дефаззификация усули. Мамдани турдаги тизим учун дастурланган усуллар: 'centroid' – огирлик маркази; 'bisector' – медиана; 'lom' – максимумларнинг энг каттаси; 'som' – максимумларнинг энг кичиги; 'mom' – максимумларнинг ўртачаси.

Сугэно турдаги тизим учун дастурланган усуллар: 'wtaver' – чамалаб кўрилган ўртача и 'wtsum' – чамалаб кўрилган йиғинди;

impMethod – импликация амалини бажариш. Дастурланган амалга оширишлар: 'min' – минимум ва 'prod' – кўпайтириш;

aggMethod – чиқиш ўзгарувчиси мансублик функцияларини бирлаштириш амалини бажариш. Дастурланган амалга оширишлар: 'max' – максимум; 'sum' – йиғинди ва 'probor' – эхтимолий ЁКИ;

input – чиқиш ўзгарувчиларининг массиви;

input.name – кириш ўзгарувчисининг номи;

input.range – кириш ўзгарувчисининг ўзгариш диапазони;

input.mf – кириш ўзгарувчиси мансублик функциясининг массиви;

input.mf.name – кириш ўзгарувчиси мансублик функциясининг номи;

input.mf.type – кириш ўзгарувчиси мансублик функциясининг модели. Дастурланган моделлар: dsigmf – иккита сигмоид функция орасидаги фарк кўринишидаги мансублик функцияси; gauss2mf – икки томонлама гаусс мансублик функцияси; gaussmf – гаусс мансублик функцияси; gbellmf – умумлашган кўнгироксимон мансублик функцияси; pimf – пи-симон мансублик функцияси; psigmf – иккита сигмоид симон мансублик функциясининг кўпайтмаси; sigmf – сигмоидсимон мансублик функцияси; smf – s-симон мансублик функцияси; trapezmf – трапеция кўринишидаги мансублик функцияси; trimf – учбурчак мансублик функцияси; zmf – z-симон мансублик функцияси;

input.mf.params – кириш ўзгарувчиси мансублик функцияси параметрларининг массиви;

output – чиқиш ўзгарувчиларининг массиви;

output.name – чиқиш ўзгарувчисининг номи;

output.range – чиқиш ўзгарувчисининг ўзгариш диапазони;

output.mf – чиқиш ўзгарувчисининг мансублик функциясининг массиви;

output.mf.name – чиқиш ўзгарувчисининг мансублик функциясининг номи;

output.mf.type – чиқиш ўзгарувчисининг мансублик функциясининг модели. Мамдани турдаги тизим учун дастурланган моделлар: dsigmf – иккита сигмоидсимон функциялар орасидаги фарк кўринишидаги мансублик функцияси; gauss2mf – икки томонлама

гаусс мансублик функцияси; gaussmf – гаусс мансублик функцияси; gbellmf – умумлашган кўнгироксимон мансублик функцияси; pimf – пи-симон мансублик функцияси; psigmf – иккита сигмоидсимон мансублик функциясининг. Сугэно турдаги тизим учун дастурланган моделлар: constatnt – константа (сингтон кўринишидаги мансублик функцияси); linear – кириш ўзгарувчиларининг чизикли комбинацияси; output.mf.params – чиқиш ўзгарувчиси мансублик функцияси параметрларининг массиви;

rule – норавшан билимлар базаси қоидаларининг массиви; rule.antecedent – қоидаларни юбориш. Кириш ўзгарувчиларининг ёзилиш тартибида термларнинг тартиб рақамлари кўрсатилади. 0 рақами мос кириш ўзгарувчисининг қиймати қоидаларнинг ҳақиқийлигига таъсир қилмаслигини кўрсатади;

rule.consequent – қоидаларнинг ҳулосалари. Чиқиш ўзгарувчиларининг ёзилиш тартибида термларнинг тартиб рақамлари кўрсатилади. 0 рақами қоида мос чиқиш ўзгарувчисига татбиқ этилмаслигини кўрсатади;

rule.weight – қоидаларнинг салмоғи. [0, 1] диапазондаги сон билан берилади;

rule.connection – қоидаларнинг ичида ўзгарувчиларнинг мантикий боғланиши: 1 – мантикий ВА; 2 – мантикий ЁКИ.

Норавшан мантикий ҳулоса тизимининг хоссаларига кириш учун мос майдоннинг номини кўрсатиш етарли. Масалан, FIS_NAME. rule(1).weight=0.5 командаси биринчи қоидаларнинг салмоғини 0.5 га тенг қилиб ўрнатади, length(FIS_NAME.rule) команда билимлар базасидаги қоидалар миқдорини аниқлайди, FIS_NAME.input(1).mf(1).name='низкий' командаси эса биринчи кириш ўзгарувчиси биринчи атаманинг номини "паст"га ўзгартиради

14.5. fis-файлнинг тузилиши ва мансублик функцияларининг моделлари

Норавшан мантикий ҳулоса тизимлари каттик дискда fis-файллар – maxsus форматли матн файллари кўринишида сақланади. readfis и writefis функциялар fis-файлларни ўқиш ва ёзиш учун ишлатилади.

Fuzzy Logic Toolbox пакети 11 бириктирилган функциялардан фойдаланади:

- бўлакли-чизикли;
- гаусс таксимоти;
- сигмоид эгри чизик;

- квадратик ва кубик эгри чизиклар.

Қулайлик учун ҳамма бириктирилган мансублик функцияларининг номлари **mf** билан тугайди. Мансублик функциялари қуйидагича чакирилади:

namemf(x, params),

бу ерда **namemf** – мансублик функциясининг номи;

x – вектор, унинг координаталари учун мансублик функциясининг киймати ҳисобланиши керак;

params – мансублик функцияси параметрларининг вектори.

Энг оддий бўлган учбурчак (**trimf**) ва трапециясимон (**trapmf**) мансублик функциялари бўлакли – чизикли аппроксимация ёрдамида шакллантирилади. Трапециясимон мансублик функцияси учбурчак мансублик функциясининг умумлаштирилгани бўлиб, мансублик функциясининг ядросини интерваллар кўринишида бериш имкониятини яратади. Трапециясимон мансублик функцияси учун қуйидаги қулай интерпретация ўринли: норавшан тўпламнинг ядроси – оптимистик баҳолаш; норавшан тўпламнинг ташувчиси (эгаси) – пессимистик баҳолаш.

Иккита мансублик функцияси – симметрик гаусс (**gaussmf**) ва икки томонлама гаусс (**gaussmf**) гаусс тақсмоти асосида шакллантирилади. Гаусс (**gaussmf**) функцияси ёрдамида ассиметрик мансублик функциясини бериш имконияти бор. Умумлашган кўнғироқсимон мансублик функцияси (**gbellmf**) ўз шаклига кўра гаусс мансублик функциясига ўхшаш. Ушбу мансублик функциялари норавшан тизимларда кўпчилик ҳолларда ишлатилади, чунки улар аниқланиш соҳасида силлиқ ва нолга тенг бўлмаган кийматларни қабул қиладилар.

Сигмоид эгри чизикдан фойдаланишга **sigmf**, **dsigmf**, **psigmf** мансублик функциялари асосланган. Ушбу функциялар киймати аргументининг киймати маълум бир кийматдан бошлаб $+$ $(-)$ ∞ гача 1 бўлувчи мансублик функцияларини шакллантириш имкониятини беради. Бундай функциялар «баланд» ёки «паст» турдаги лингвистик термларни бериш учун қулай.

Полиномиал аппроксимация график тасвирлари мос равишда **sigmf**, **dsigmf**, **psigmf** функциялариникига ўхшаш бўлган **zmf**, **pimf** ва **smf** функцияларни шакллантириш учун қўлланилади.

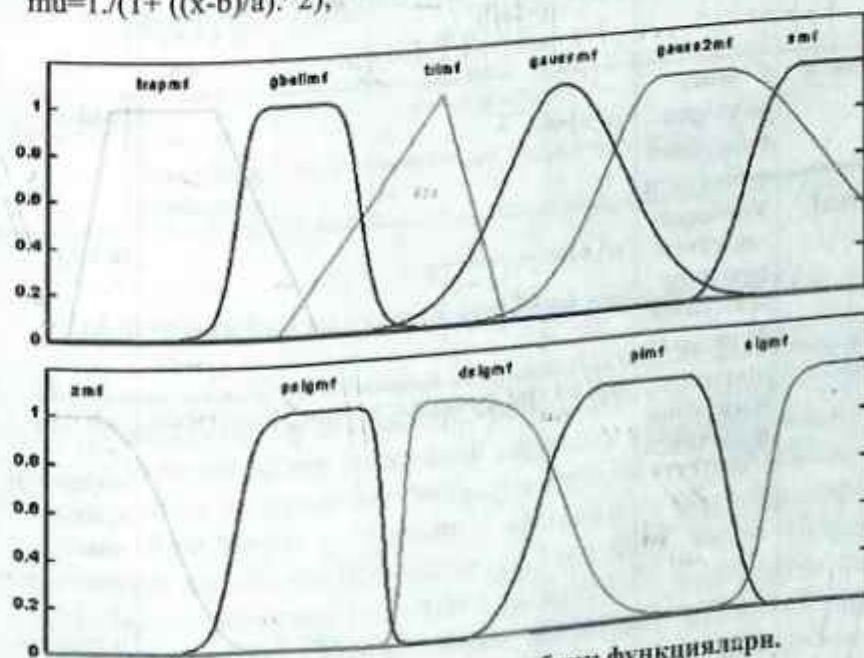
Бириктирилган мансублик функциялари тўғрисидаги асосий информация 14.1-жадвалга киритилган. 14.16-расмда келтирилган. Мансублик функцияларининг **mfdemo** намоёниш қилиш сценарийси ёрдамида олинган график тасвирлари 14.16-расмда келтирилган. Расмдан кўриниб турганидек, бириктирилган мансублик функциялари ҳар хил норавшан кўпхадларни киритиш имкониятини беради.

Fuzzy Logic Toolbox пакетида фойдаланувчи учун ўзининг хусусий мансублик функцияларини яратиш имконияти мавжуд. Бунинг учун мансублик функциясининг кийматлари ва мансублик функцияси параметрларининг вектори ҳисобланиши зарур бўлган, иккита вектор кийриш аргументини ўз ичига олувчи **m**-функцияни яратиш зарур бўлади. Яратилган **m**-функциянинг чиқиш аргументлари мансублик даражаларининг вектори бўлиши керак. Қуйида кўнғирок шаклидаги

$$\mu(x) = \frac{1}{1 + \left(\frac{x-b}{a}\right)^2}$$

мансублик функциясини амалга оширувчи **m**-функция келтирилган:

```
function mu=bellmf(x, params)
bellmf – кўнғироқсимон мансублик функцияси;
x – кириш вектори;
params(1) – концентрация коэффиценти (>0);
params(2) – максимумнинг координаталари.
a=params(1);
b=params(2);
mu=1./(1+((x-b)/a).^2);
```



14.16-расм. Бириктирилган мансублик функциялари.

Мансублик функциялари

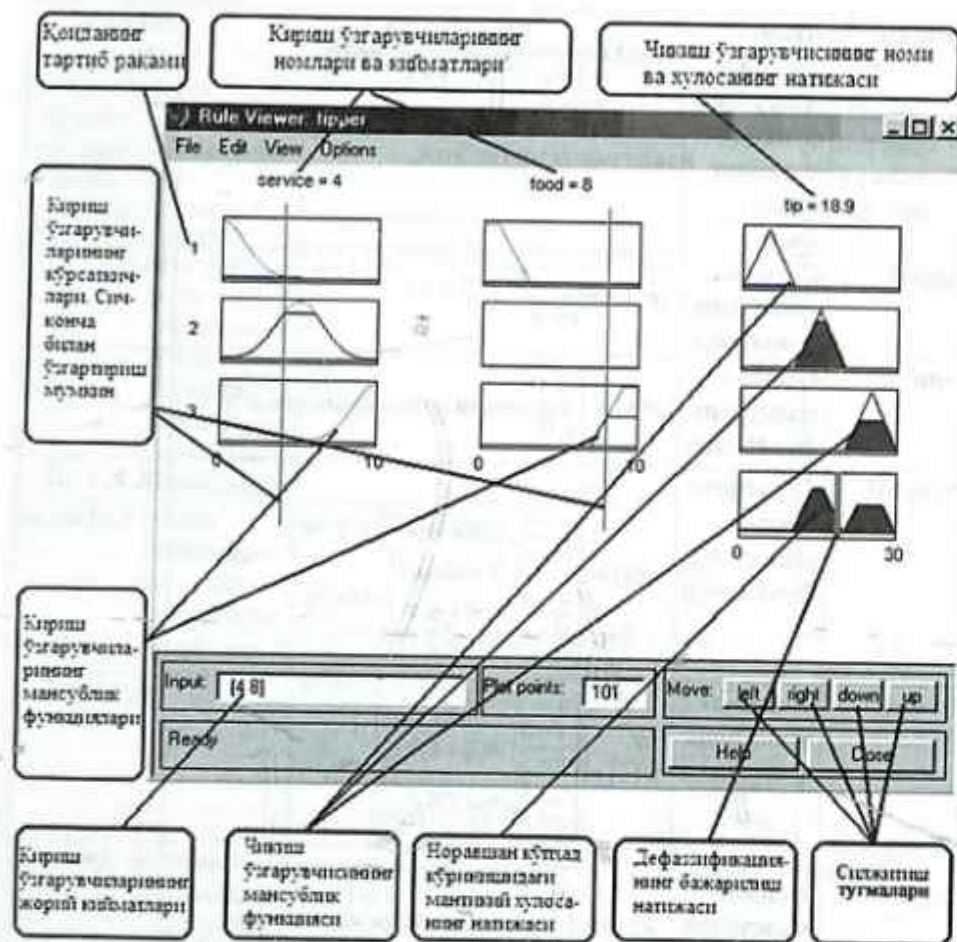
14.1-жадвал

Функциянинг номи	Тавсифи	Аналитик формуласи	Параметрларнинг тартиби
dsigmf	Иккита сигмоид функция орасидаги фарк кўринишидаги мансублик функцияси	$\mu(x) = \frac{1}{1 + e^{-a_1(x-c_1)}} - \frac{1}{1 + e^{-a_2(x-c_2)}}$	[a1 c1 a2 c2]
gauss2mf	Икки томонлама гаусс мансублик функцияси	агар $c_1 < c_2$ бўлса, $\mu(x) = \begin{cases} \exp((x-c_1)^2 / (-2a_1^2)) & x < c_1 \\ 1 & c_1 \leq x \\ \exp((x-c_2)^2 / (-2a_2^2)) & x > c_2 \end{cases}$ агар $c_1 > c_2$ бўлса, $\mu(x) = \begin{cases} \exp((x-c_1)^2 / (-2a_1^2)) & x < c_2 \\ \exp((x-c_1)^2 / (-2a_1^2)) * \exp((x-c_2)^2 / (-2a_2^2)) & c_2 \leq x \leq c_1 \\ \exp((x-c_2)^2 / (-2a_2^2)) & x > c_1 \end{cases}$	[a1 c1 a2 c2]
gaussmf	Симметрик гаусс мансублик функцияси	$\mu(x) = e^{-\frac{(x-b)^2}{2\sigma^2}}$	[c b]
gbellmf	Умумлашган кўнги-рокси-мон мансублик функцияси	$\mu(x) = \frac{1}{1 + \left \frac{x-c}{a} \right ^{2b}}$	[a b c]
pimf	пи-симон мансублик функцияси	smf ва zmf функцияларнинг кўпайтмаси	[a b c d] [a d] – норавшан кўпхаднинг манбаси; [b c] – норавшан кўпхаднинг ядроси;

psigmf	Иккита сигмоид мансублик функцияларнинг кўпайтмаси	$\mu(x) = \frac{1}{1 + e^{-a_1(x-c_1)}} \cdot \frac{1}{1 + e^{-a_2(x-c_2)}}$	[a1 c1 a2 c2]
sigmf	Сигмоид мансублик функцияси	$\mu(x) = \frac{1}{1 + e^{-a(x-c)}}$	[a c]
smf	s-симон мансублик функцияси	$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \text{ночизикли аппроксимация} & a < x < b \\ 1, & x \geq b \end{cases}$	[a, b]
trapmf	Трапедия-симон мансублик функцияси	$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ \frac{b-x}{d-b}, & b \leq x \leq d \\ 0, & c \leq x \leq d \\ 0, & d \leq x \end{cases}$	[a, b, c, d]
trimf	Учбурчак мансублик функцияси	$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x \leq c \\ 0, & c \leq x \end{cases}$	[a, b, c]
zmf	z-симон мансублик функцияси	$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \text{ночизикли аппроксимация} & a < x < b \\ 1, & x \geq b \end{cases}$	[a, b]

14.6. Норавшан мантикий хулосани визуаллаштириш

Норавшан мантикий хулосани визуаллаштириш **Rule Viewer** GUI-модуль ёрдамида амалга оширилади. Ушбу модуль ҳар бир конда бўйича мантикий хулосага келиш, натижавий норавшан кўпхадни олиш ва де-мантикий хулосага келиш, натижавий норавшан кўпхадни олиш ва де-фаззификацияни бажариш боскичларини батафсил кўриш имкониятини беради. **Rule Viewer** ни норавшан мантикий хулоса тизимларидан ни беради. **Rule Viewer** ни норавшан мантикий хулоса тизимларидан фойдаланувчи ҳар қандай GUI-модулдан, **View** менюсидаги **View rules** ... командасини бажариш ёки **Ctrl+4** тугмаларини босиш йўли билан чақириш мумкин. **Rule Viewer** график ойнасининг кўриниши, **tipper** мантикий хулоса тизими учун, асосий майдонларининг функционал ва-зифалари кўрсатилган ҳолда 14.17-расмда келтирилган.



14.17 – расм. Rule Viewer ёрдамида tipper тизими учун мантикий хулосани визуаллаштириш.

Rule Viewer тўртта меню - File, Edit, View, Options, иккита маълумот киритиш майдони – Input ва Plot points ва тасвири ўнг-чапга (left-right) ҳамда юқорига-пастга (up-down) силжитиш тугмаларини ўз ичига олади. График ойнанинг пастки қисмида Help ва Close тугмалари жойлашган. Улар мос равишда маълумот ойнасини чақириш ва редакторни ёпиш учун ишлатилади.

Билимлар базасининг ҳар бир қондаси горизонтал жойлашган тўғри бурчакли тўртбурчакларнинг кетма-кетлиги кўринишида тақдим қилинади. Биринчи иккита тўртбурчак қондани юбориш термларининг мансублик функцияларини (АГАР – қонданинг қисми) акс эттиради, сўнгги учинчи тўртбурчак чиқиш ўзгариувчиси натижа термининг мансублик функциясига (УНДАЙ БЎЛСА – қонданинг қисми) мос келади.

Иккинчи қондани визуаллаштиришдаги бўш тўртбурчак, ушбу қондада food ўзгариувчиси бўйича жўнатма мавжуд эмаслигини (food is none) билдиради. Кириш ўзгариувчилари мансублик функцияларидаги сарикка бўялишлар киришлар қийматларининг ушбу қонда термларига қанчалик даражада мос келишини билдиради. Қондани Rule Editor форматида чиқариш учун сичкончани мос қонданинг устида бир марта босиш керак. Бунда кўрсатилган қонда график ойнанинг пастки қисмига чиқарилади.

Чиқиш ўзгариувчиси мансублик функцияси графигининг ҳаво ранг қисми мос қонда бўйича мантикий хулосанинг норавшан кўпхад қисми мос қонда бўйича мантикий хулосанинг акс эттиради. Ҳамма қондалар бўйича кўринишидаги натижасини акс эттиради. Ҳамма қондалар бўйича мантикий хулосага мос келувчи натижавий норавшан кўпхад график ойна сўнгги устунининг пастки тўртбурчагида кўрсатилган. Ушбу тўртбурчакдаги вертикал қизил чизик дефазификация натижасида олинган мантикий хулосанинг аниқ қийматига мос келади.

Кириш ўзгариувчиларининг қийматларини киритиш икки хил йўл билан амалга оширилиши мумкин:

- сон қийматларини Input майдонида киритиш йўли билан;
- сичконча ёрдамида қизил рангли чизик кўрсаткичларни силжитиш йўли билан.

Сичконча ёрдамида киритилганда курсор қизил вертикал линиянинг устига олиб келиниб сичкончанинг чап тугмаси босилиши ва у қўйиб юборилмаган ҳолда кўрсаткич керакли позицияга силжитилиши керак. Кириш ўзгариувчисига мос янги сон қиймати автоматик тарзда қайта ҳисобланади ва Input ойнасига чиқарилади.

Мансублик функциясининг графигини куриш учун зарур бўлган дискретлаштириш нуқталарининг сони Plot points майдонида берилади. Сукут бўйича қиймат – 101.

Edit менюси

Edit менюсининг умумий кўриниши 14.18-расмда келтирилган.

FIS Properties... командаси FIS-редакторни очади.

Ctrl+1 тугмаларни босиш йўли билан ҳам очиш мумкин.

Membership Functions... командаси мансублик функцияси редакторини очади.

Уни Ctrl+2 тугмаларни босиш йўли билан ҳам очиш мумкин.

Rules... командаси билимлар базасининг редакторини очади.

Ушбу команда Ctrl+3 тугмаси босилганда ҳам бажарилади.

Options менюси

Options менюси факт битта Format командасига эга, у график ойнанинг пастки

Menu	Shortcut
FIS Properties...	Ctrl+1
Membership Functions...	Ctrl+2
Rules...	Ctrl+3

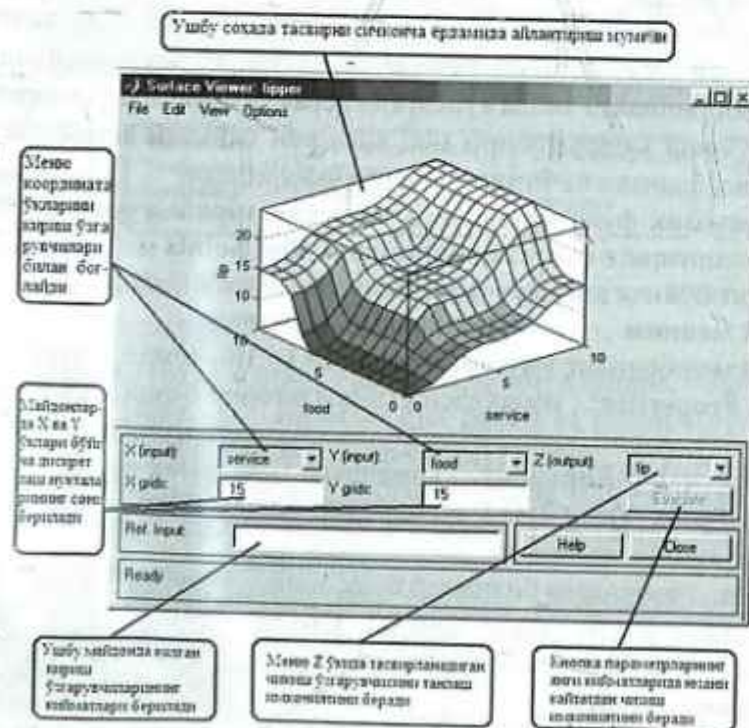
14.18-расм. Edit менюси.

кисмида танланган қонданинг куйида кўрсатилган форматларидан бирини ўрнатиш имкониятини беради:

- **Verbose** – лингвистик;
- **Symbolic** – логик;
- **Indexed** – индексланган.

14.7. “Кириш-чиқиш” юзасини визуаллаштириш

“Кириш-чиқиш” юзасини визуаллаштириш **Surface Viewer** GUI-модуль ёрдамида амалга оширилади. Ушбу модуль ҳар қандай чиқиш ўзгарувчиси қиймати ва ихтиёрий иккита (ёки битта) кириш ўзгарувчиси орасидаги боғланишнинг график тасвирини чиқариш имкониятини беради. **Surface Viewer** модулини норавадан мантиқий ҳулоса тизимларида ишлатиладиган ҳар қандай GUI-модулининг **View** менюсидан **View surface ...** командаси ёрдамида ёки **Ctrl+4** тугмаларни босиш йўли билан чақириш мумкин. **Surface Viewer** модулининг умумий кўриниши график ойнасидаги асосий майдонларининг функционал вазифалари билан биргаликда 14.19-расмда келтирилган.



14.19-расм. **Surface Viewer** модули ёрдамида **tipper** тизими учун “киришлар – чиқиш” юзасини визуаллаштириш.

Surface Viewer модули куйидаги менюларни ўз ичига олади:

тизим менюлари- **File, Edit, View, Options;**

координата ўқларини танлаш учун учта меню – **X (input), Y (input),**

Z (output);

маълумот киритиш учун учта меню – **X girds, Y girds, Ref. Input;**

параметрлар ўзгарганда юзани (расмни) қайтадан чизиш учун тугма – **Evaluate;**

мос равишда маълумотлар ойнасини очиш ва редакторни ёпиш тугмалари – **Help va Close.**

Surface Viewer модули сичқонча ёрдамида “кириш-чиқиш” юзасини (расмни) зарур томонга айлантириш имкониятини беради. Бунинг учун унинг устида сичқончанинг чап тугмаси босилади ва қўйиб юбормасдан график тасвир керакли бурчакка (томонга) бурилади.

X girds ва **Y girds** майдонлар “кириш-чиқиш” юзасини куриш учун зарур бўлган **X** ва **Y** ўқлари дискретлаш нукталарининг сонини бериш учун мўлжалланган. Сукут бўйича ҳар бир ўқдаги дискретлаш нукталарининг сони 15 га тенг. Ушбу қийматни ўзгартириш учун маркерни **X girds** (ёки **Y girds**) майдонига қўйилади ва янги қиймат киритилади.

Ref. Input майдони координата ўқларига боғланмаган кириш ўзгарувчиларининг қийматларини бериш учун мўлжалланган. Сукут бўйича ушбу қийматлар ўзгарувчилар ўзгариш интервалларининг ўрталаридир. Қийматларни ўзгартириш учун маркер **Ref. Input** майдонига қўйилади ва янги қийматлар киритилади.

14.8. Координаталар ўқларининг менюлари

X (input), Y (input), Z (output) менюлар кириш ва чиқиш ўзгарувчиларини координата ўқларига мос равишда жойлаштириш имкониятини беради. Буида кириш ўзгарувчилари фақат **X** и **Y** ўқларида, чиқиш ўзгарувчилари эса фақат **Z** ўқда акс эттирилиши мумкин. **Surface Viewer** ёрдамида бир факторли “кириш-чиқиш” боғланишларини куриш ҳам кўзда тутилган. Бунинг учун иккинчи координата ўқининг (**X (input)** ёки **Y (input)**) менюсида **none** қийматни танлаш керак.

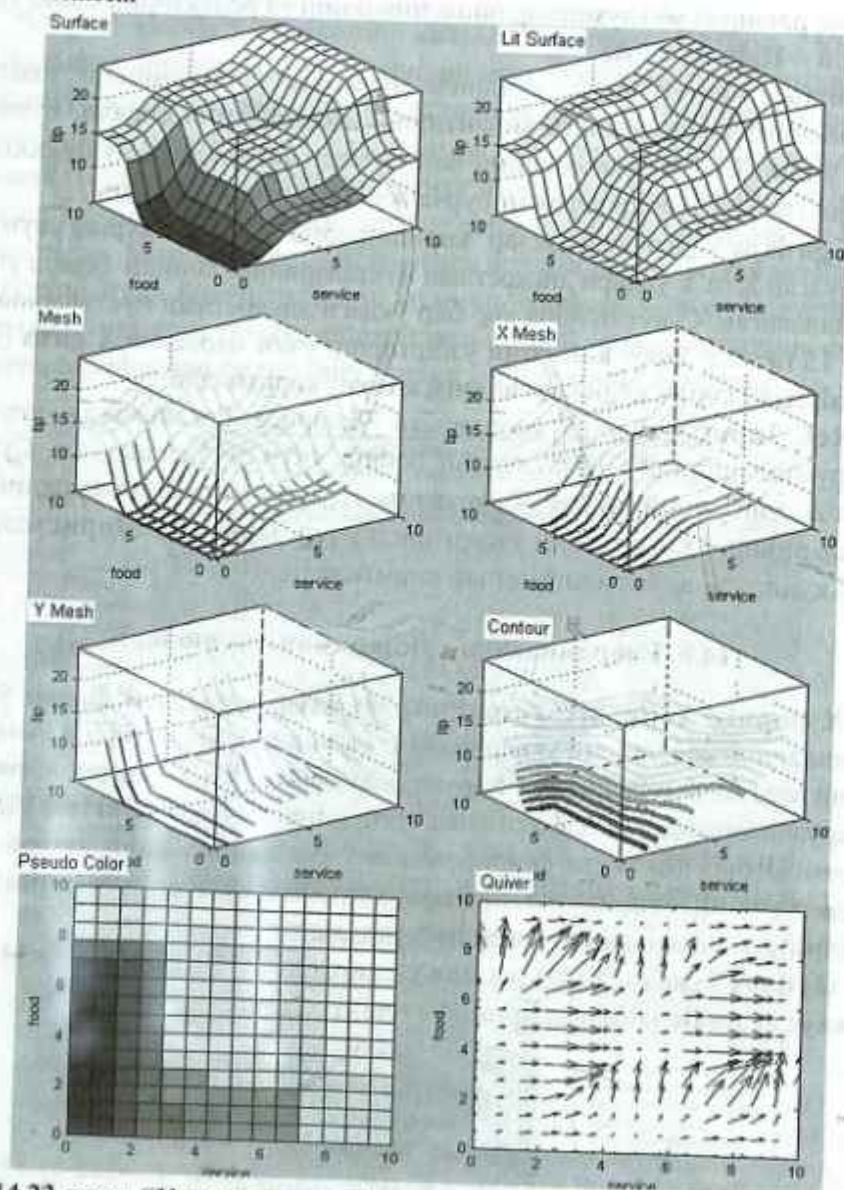
Options менюси 14.20-расмда тасвирланган. У **Plot, Color Map** и **Always evaluate** командаларини ўз ичига олади.



14.20-расм. **Options** менюси.

- ✓ Surface
- Li Surface
- Mesh
- X Mesh
- Y Mesh
- Contour
- Pseudo Color
- Quiver

14.21-расм.
Plot менюси.



14.22-расм. "Кириш-чикиш" юзасининг форматларига мисоллар.

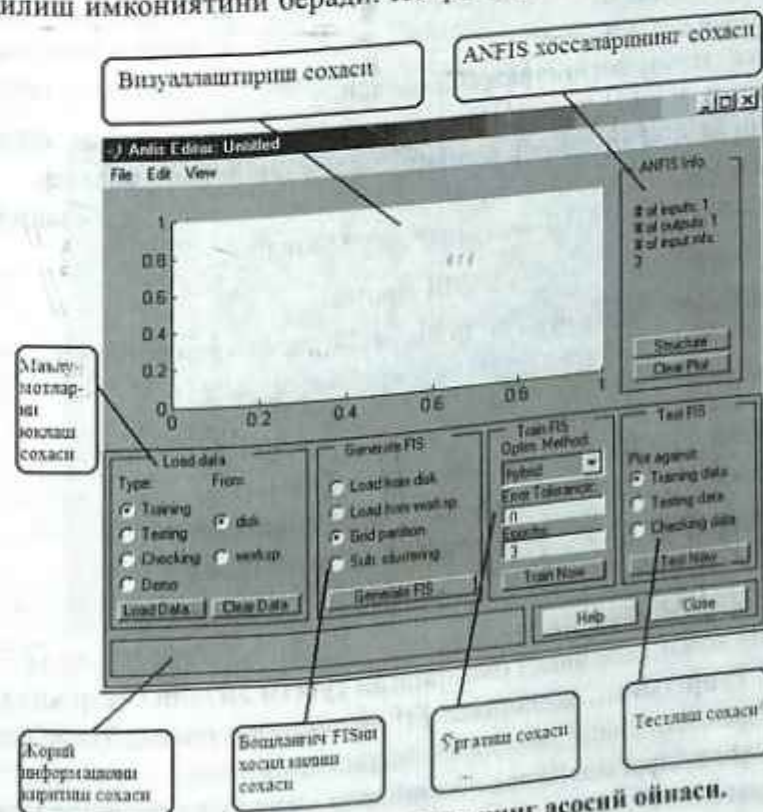
Color Map командаси "кириш-чикиш" юзасини чиқаришда ранглар политрасини бошқариш имкониятини беради. Ушбу команда танланганда ҳосил бўладиган менюда қуйидагилардан бири танланиши керак:

- default** – сукут бўйича ўрнатилган палитрадан фойдаланиш;
- blue** – совуқ кўк-зангори палитра;
- hot** – қора, қизил, сарик ва оқ ранглардан ташкил топган палитра;
- HSV** – қуйидаги тўйинган ранглар палитраси: қизил, сарик, яшил, хаворанг, зангори, пушти, қизил.

Always evaluate командаси «кириш-чикиш» юзасини параметрлар ўзгарганда автоматик равишда қайтадан чизиш режимини ўрнатиш/бекор қилиш имкониятини беради (**Evaluate** тугмасини босмасдан).

14.9. ANFIS- тахрирлагич

ANFIS – Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (адаптив нейро-норавшан тизим) нейро-норавшан тизим автоматик тарзда экспериментал маълумотлар асосида нейро-норавшан тизимларни синтез қилиш имкониятини беради. Нейро-норавшан тармокни Сугэно



14.23-расм. ANFIS-тахрирлагичнинг асосий ойинаси.

турдаги норавшан мантикий хулоса тизимининг кўринишларидан бири деб қараш мумкин. Бунда синтез қилинган тизимнинг мансублик функцияси норавшан моделда олинган натижалар билан экспериментал маълумотлар орасидаги фарқ минимал бўладиган қилиб мослаштирилади (ўқитилади). ANFIS-тахрирлагични юклаш редактори **anfisedit** командаси ёрдамида амалга оширилади. Ушбу команданинг бажарлиши натижасида 14.23-расмда кўрсатилган график ойна ҳосил бўлади. Бундан ташқари ушбу расмда тавсифи қуйида берилган ANFIS-тахрирлагичнинг функционал соҳалари келтирилган.

ANFIS-тахрирлагич қуйидагиларни ўз ичига олади:

File, Edit и View, менюлари;

визуаллаш соҳаси;

ANFIS хоссаларининг соҳаси;

маълумотларни юклаш соҳаси;

бошланғич норавшан мантикий хулоса соҳаси;

тизимини ҳосил қилиш соҳаси;

ўргатиш соҳаси;

тестлаш соҳаси;

жорий маълумотни чиқариш соҳаси;

Help и Close, тугмалари, улар мос равишда ёрдам ойнасини чақиртириш ва ANFIS-тахрирлагични ёпиш учун ишлатиладилар.

File и View менюлари норавшан мантикий хулоса тизимларида ишлатиладиган ҳамма GUI-модуллар учун ўхшаш.

Edit менюси

Менюнинг умумий кўриниши 14.24-расмда келтирилган.

Undo	Ctrl+Z
FIS Properties...	Ctrl+1
Membership Functions...	Ctrl+2
Rules...	Ctrl+3
Anfis...	Ctrl+4

14.24-расм. Edit менюси.

Undo командаси аввал бажарилган сўнгги амални бекор қилади.

FIS Properties... командаси FIS-редакторни очади. Ушбу команда **Ctrl+1** тугмаси босилганда ҳам бажарилади.

Membership Functions... командаси мансублик функцияларининг тахрирлагичини очади.

Rules... командаси билимлар базасининг тахрирлагичини очади.

Anfis... командаси ANFIS-тахрирлагични очади.

Визуаллаш соҳаси

Визуаллаш соҳасига икки турдаги маълумот чиқарилади:

- тизим ўргатилаётган вақтда – ўргатиш эгри чизиги, ўргатиш ҳа-толиги ва итерация тартиб рақами орасидаги боғланишнинг графиги кўринишида;

- маълумотлар юкланаётган ва тизим тестланаётган вақтда – таж-риба маълумотлари ва моделлаш натижалари.

Тажриба маълумотлари ва моделлаш натижалари икки ўлчамли юзада нукталар тўплами сифатида чиқарилади. Абсцисса ўқида олин-мадаги маълумотлар (ўргатувчи, тестловчи ёки назорат) сатрининг тартиб рақами, ординат ўқида эса олинманинг берилган сатри учун чиқиш ўзгарувчисининг киймати.

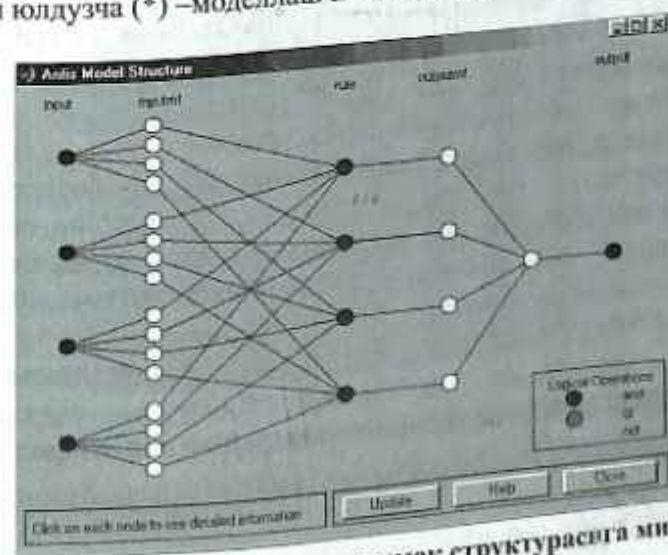
Қуйидаги маркерлар ишлатилади:

ҳаво ранг нукта (.) – тестловчи олинма;

ҳаво ранг доира (o) – ўргатувчи олинма;

ҳаво ранг плюс (+) – назорат олинмаси;

қизил юлдузча (*) – моделлаш натижалари.



14.25-расм. Нейро-норавшан тармоқ структурасига мисол.

ANFIS хоссаларининг соҳаси

ANFIS хоссаларининг соҳасига (ANFIS info) кириш ва чиқиш ўзгарувчиларининг сони, ҳар бир кириш ўзгарувчиси учун мансублик функцияларининг сони ва олинмалардаги сатрлар сони тўғрисидаги

маълумот чиқарилади. Ушбу соҳада **Structure** ва **Clear Plot** тугмалари жойлашган.

Structure тугмаси босилганда янги график ойна очилади. Унда норавшан мантикий хулоса тизими нейро-норавшан тармоқ кўринишида тақдим қилинади. Намуна сифатида 14.25-расмда тўртта кириш ва битта чиқиш ўзгарувчисини ўз ичига оловчи нейро-норавшан тармоқ келтирилган. Ушбу тизимда ҳар бир кириш ўзгарувчисини баҳолаш учун учтадан лингвистик термлардан ва чиқиш ўзгарувчисини баҳолаш учун тўртта термдан фойдаланилади.

Clear Plot тугмаси босилса визуаллаш соҳаси тозаланади.

Маълумотларни юклаш соҳаси

Маълумотларни юклаш (**Load data**) соҳасида қуйидагилар жойлашган:

– маълумотлар турини танлаш менюси (**Type**), у қуйидаги альтернативаларга эга:

- **Traning** – ўргатувчи танланма;
- **Testing** – тестловчи танланма;
- **Checking** – назорат танланмаси;
- **Demo** – намоиш қилиш учун намуна;

• маълумотлар манбасини танлаш менюси (**From**), у қуйидаги альтернативаларга эга:

- **disk** – диск;
- **worksp.** – MATLAB нинг ишчи соҳаси;

• маълумотларни юклаш соҳаси **Load Data...**, у босилганда, агар маълумотлар қаттиқ дискдан юкланаётган бўлса файлни танлаш диалог ойнаси пайдо бўлади, ёки маълумотлар ишчи соҳадан юкланаётган бўлса танланма идентификаторини киритиш ойнаси ҳосил бўлади;

• маълумотларни тозалаш тугмаси **Clear Data**.

Изоҳ. ANFIS-редакторнинг битта ишлаш сеанси давомида фақат бир хил форматдаги маълумотларни юклаш мумкин, яъни танланмалардаги кириш ўзгарувчиларининг сонлари бир хил бўлиши керак.

Бошланғич норавшан мантикий хулоса тизимини ҳосил қилиш соҳаси Generate FIS

Generate FIS соҳасида бошланғич мантикий хулоса тизимини яратиш усулини танлаш менюси жойлашган. Менюда қуйидаги альтернативалар мавжуд:

- **Load from disk** – тизимни қаттиқ дискдан юклаш;
- **Load from worksp.** – тизимни MATLAB нинг ишчи соҳасидан юклаш;

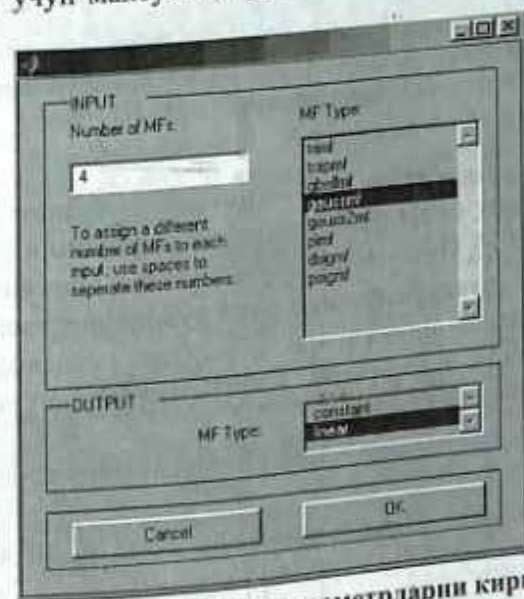
• **Grid partition** – тизимни панжара усулида ҳосил қилиш (кластеризациясиз);

• **Sub. clustering** – тизимни субкластеризация усулида ҳосил қилиш. **Generate FIS** соҳасида **Generate** тугмаси ҳам жойлашган, у босилганда бошланғич норавшан хулоса тизими ҳосил бўлади.

Load from disk танланганда файл очишнинг стандарт диалог ойнаси пайдо бўлади.

Load from worksp танланганда норавшан мантикий хулоса тизими идентификаторини киритишнинг стандарт диалог ойнаси пайдо бўлади.

Grid partition танланганда 14.26-расмда кўрсатилган панжара усулининг параметрларини киритиш ойнаси пайдо бўлади, унда ҳар бир кириш ўзгарувчиси учун термлар сонини ва кириш ҳамда чиқиш ўзгарувчилари учун мансублик функциясининг турини кўрсатиш керак.



14.26-расм. Панжара усули учун параметрларни киритиш ойнаси.

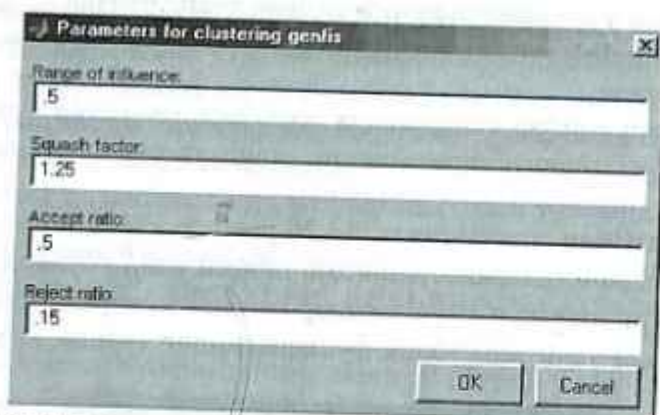
Sub. clustering танланганда субкластеризациянинг қуйидаги параметрларини киритиш учун ойна ҳосил бўлади (14.27-расм):

Range of influence – кириш ўзгарувчиларининг таъсир даражалари;

Squash factor – бостириш коэффициент;

Accept ratio – коэффициент, кўрилатган нукта кластерлардан бирининг маркази қилиб белгиланиши учун унинг потенциали биринчи кластер марказининг потенциалидан неча марта катта бўлиши кераклигини белгилайди;

Reject ratio – коэффициент, кўрилатган нукта кластерлардан бирининг маркази килиб белгиланмаслиги учун унинг потенциали биринчи кластер марказининг потенциалидан неча марта кичик бўлиши кераклигини белгилайди;



14.27-расм. Субкластеризация усули учун параметрларни киритиш ойнаси.

Ўргатиш соҳаси

Ўргатиш соҳасида (**Train FIS**) оптималлаш усулини танлаш менюси (**Optim. method**), ўргатишнинг керакли аниқлигини ўрниатиш менюси (**Error tolerance**), ўргатиш итерацияларининг сонини бериш майдони (**Epochs**) ва ўргатиш режимини ишга тушириш тугмаси **Train Now**. Ўргатишнинг оралик натижалари визуаллаш соҳасига ва MATLAB нинг ишчи соҳасига чиқарилади. ANFIS-редакторда ўргатишнинг иккита методи амалга оширилган;

1. **backpropa** – тез тушиш методининг гоёларига асосланган хатони тескари тарқатиш методи;

2. **hybrid** – хатони тескари тарқатиш ва энг кичик квадратлар методларини бирлаштирувчи гибрид метод.

Тестлаш соҳаси

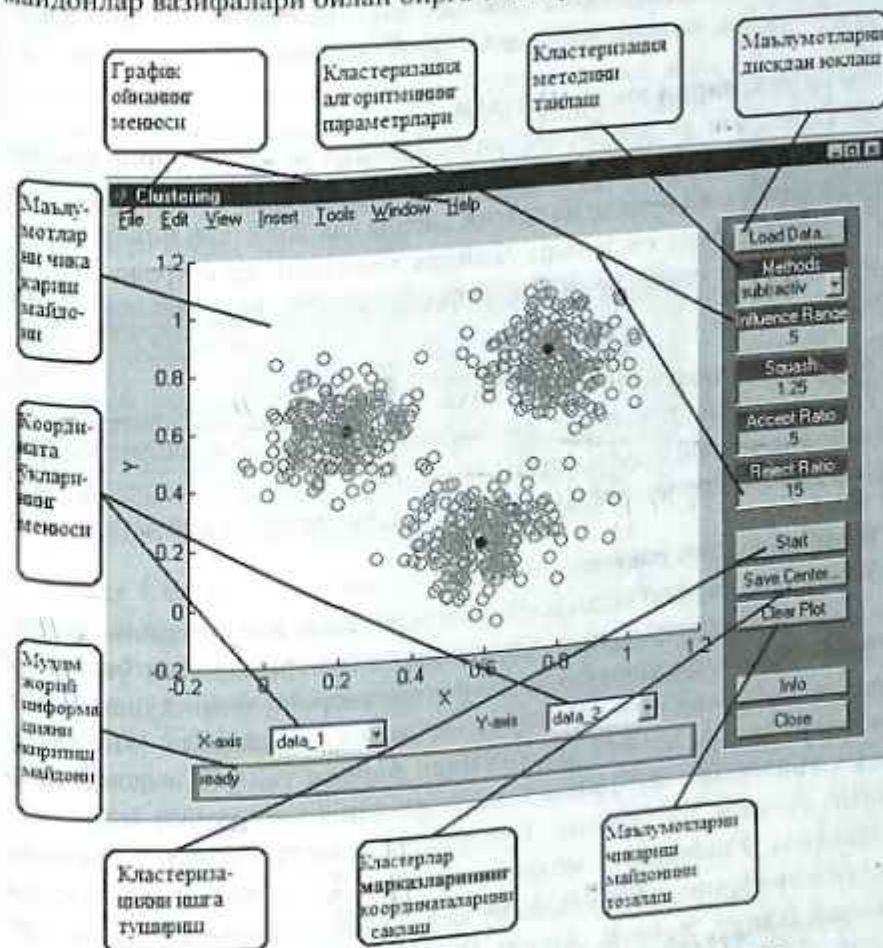
Тестлаш соҳасида (**Test FIS**) жойлашган **Test Now** тугмаси босилганда норавадан тизимни тестлаш бошланади ва тестлаш натижалари визуаллаш соҳасига чиқарилади.

Жорий маълумотни чиқариш соҳаси

Ушбу соҳага энг муҳим жорий маълумот чиқарилади, масалан, операцияларнинг бажарилганлиги тўғрисидаги ахборот, ўргатиш ва тестлаш хатоликларининг кийматлари ва бошқалар.

14.10. Findcluster модули

GUI-модул **Findcluster** кўп ўлчамли маълумотлар кластерларининг марказларини норавадан с-means алгоритми ва субтрактив кластеризация алгоритмлари ёрдамида автоматик тарзда аниқлашга ёрдам беради. **Findcluster** модулини юклаш **findcluster** командаси билан амалга оширилади. **Findcluster** модулининг асосий график ойнаси функционал майдонлар вазибалари билан бирга 14.28-расмда кўрсатилган.



14.28-расм. Findcluster модулининг асосий ойнаси.

Findcluster модули етти та меню (**File**, **Edit**, **View**, **Insert**, **Tools**, **Windows** ва **Help**), визуаллаштириш соҳаси, маълумотларни юклаш соҳаси, кластеризация соҳаси, жорий ахборотни чиқариш соҳаси ҳамда мос ҳолда маълумотлар ойнасини чиқарувчи ва модулни ёпувчи **Info** ва **Close** тугмаларини ўз ичига олади.

Визуаллаштириш соҳаси

Визуаллаштириш соҳасига тажриба маълумотлари (образлар) ва кластерларнинг аниқланган марказлари чиқарилади.

Образлар учун кизил айлана кўринишидаги маркердан (o) ва кластерларнинг марказлари учун қора нукта кўринишидаги маркердан (•) фойдаланилади.

Визуаллаштириш соҳасида образларнинг белгиларини мос равишда абсцисса ва ордината ўқлари билан боғловчи **X-axis** ва **Y-axis** координата ўқларини танлаш менюси ҳам жойлашган.

Маълумотларни юклаш соҳаси

Ойнанинг ўнг юқори бурчагида жойлашган маълумотларни юклаш соҳасида **Load Data...** тугмаси мавжуд. У босилганда типик файлни очиш ойнаси ҳосил бўлади ва қаттиқ дискда сақланаётган маълумотлар кластеризация учун юкланади. Файлда маълумотлар сатрлар бўйича ёзилган бўлиши керак, яъни, ҳар бир образга бир сатр маълумот мос келиши керак.

Жорий ахборотни чиқариш соҳаси

График ойнанинг пастида жойлашган ушбу ойнага энг муҳим жорий ахборот чиқарилади, масалан, модулни ҳолат, кластеризация алгоритмининг итерация рақами, мақсад функциясининг қиймати ва ҳ.к.

Кластеризация соҳаси

Ушбу соҳада фойдаланувчи кластеризация алгоритмини танлаш, унинг параметрларини ўрнатиш, кластеризацияни ўтказиш ва кластерлар марказларининг координаталарини файл кўринишида сақлаш мумкин. Кластеризация соҳасида жойлашган **Method...** менюси, қуйидаги иккита алгоритмдан бирини танлаш имкониятини беради: **subtractiv** – субтрактив кластеризация алгоритми; **fcm** – норавшан с-means алгоритми. Субтрактив кластеризация алгоритми танланганда **Findcluster** модулининг график ойнаси 14.28-расмда кўрсатилган кўринишда бўлади. Бу ҳолда фойдаланувчи алгоритмнинг **Influence Range**, **Squash**, **Accept Ratio** ва **Reject Ratio** параметрларининг қийматларини ўрнатиш имкониятига эга бўлади. Юқорида келтирилган параметрларнинг маънолари **subclust** функциясининг тавсифида кўриб чиқилган. Норавшан с-means алгоритм танлангандаги кластеризация соҳаси 14.29-расмда кўрсатилган кўринишни олади. Ушбу ҳолда фойдаланувчи қуйидаги параметрларнинг қийматларини ўрнатиш имкониятига эга: **Cluster Num.** – кластерлар

сони; **Max Iteration #** – алгоритм итерацияларининг максимал сони; **Min** – алгоритмнинг битта итерацияси вақтида мақсад функцияси яхшиланишининг йўл қўйиладиган минимал қиймати; **Exponent** – экспоненциал саноқнинг қиймати.

Start тугмаси кластеризацияни ишга туширади. Кластерлар марказларининг қийматлари **fcm** алгоритмдан фойдаланилганда ҳар бир итерациядан кейин визуаллаш ойнасига чиқарилади. Субтрактив алгоритмдан фойдаланилганда кластеризация жараёнининг динамикасини кўрсатувчи қўшимча ойна очилади (14.30-расм). Кластерлар марказларининг координаталари алгоритмнинг бажарилиши тугаллангандан кейин чиқарилади.



14.30-расм. Субтрактив кластеризация алгоритмининг бажарилишини кўрсатувчи ойна.

Save Center... тугмаси топилган кластерлар марказларининг координаталарини сақлаш имкониятини беради. Ушбу тугма босилганда маълумотларни файлга ёзишнинг типик ойнаси очилади. Файлда координаталар сатрлар бўйича ёзилган бўлиши керак, яъни, файлни ҳар бир сатри битта марказ координаталарининг қийматларини ўз ичига олиши керак.

Clear Plot тугмаси маълумотларни чиқариш майдонини тозалаш имконини беради.

14.11. FIS-тахрирлагич

FIS-тахрирлагич норавшан мантикий ҳулоса тизимларини яратиш, сақлаш, юклаш ва босмага чиқариш учун ҳамда уларнинг қуйидаги хусусиятларини тахрирлаш учун мўлжалланган:

- системанинг тури;
- системанинг номи;
- кириш ва чиқиш ўзгарувчиларининг сони;
- кириш ва чиқиш ўзгарувчиларининг номлари;



14.29-расм. Норавшан с-means алгоритм танлангандаги кластеризация соҳаси.

- норавшан мантикий хулосанинг параметрлари.

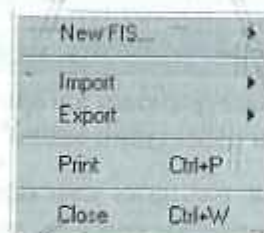
FIS-редактор **fuzzy** командаси ёрдамида юкланади. У юкланганда 3.2-расмда келтирилган график ойна пайдо бўлади. Расмда график ойна асосий майдонларининг функционал вазифалари кўрсатилган. График ойнанинг пастки қисмида **Help** ва **Close** тугмалари жойлашган бўлиб, улар мос равишда маълумотлар ойнасини чақириш ва редакторни ёпиш имкониятини беради.

FIS-редактор 8 менюни ўз ичига олади:

- учта умумтизим менюлари - **File, Edit, View;**
- норавшан мантикий хулосанинг параметрларини танлаш учун бешта меню – **And Method, Or Method, Implication, Aggregation и Defuzzification.**

File менюси

Ушбу меню норавшан мантикий хулоса тизимларида ишлатиладиган ҳамма GUI-модулар учун умумий меню бўлиб ҳисобланади. Менюнинг умумий кўриниши 14.31-расмда кўрсатилган.

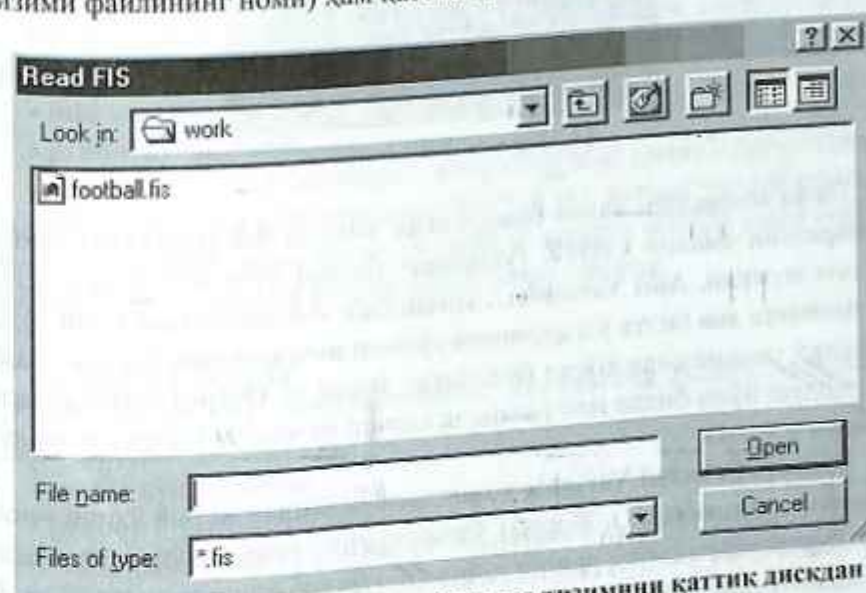


14.31-расм. File менюси.

Фойдаланувчи янги норавшан мантикий хулоса тизимини **New FIS...** командаси ёрдамида яратиши мумкин. Ушбу команда танланганда яратиладиган системанинг турини аниқловчи иккита альтернатива ҳосил бўлади: **Mamdani** ва **Sugeno**. Mamdani туридаги системани **Ctrl+N** тугмаларини босиш йўли билан ҳам яратиш мумкин.

Фойдаланувчи **Import** командаси ёрдамида аввал яратилган норавшан мантикий хулоса тизимини юклаш имкониятига эга. Ушбу команда танланганда иккита альтернатива ҳосил бўлади: **From Workspace** ва **From disk....** Улар мос равишда норавшан мантикий хулоса тизимини MATLAB нинг ишчи соҳасидан ёки қаттиқ дискдан юклаш имкониятини беради. **From Workspace...** командаси танланганда ҳосил бўладиган диалог ойнада MATLAB нинг ишчи соҳасидаги норавшан мантикий хулоса системасининг идентификатори кўрсатилади. **From disk** командаси танланганда 14.32-расмда кўрсатилган диалог ойнаси ҳосил

бўлади, унда қаттиқ дискдан юкланадиган норавшан мантикий хулоса тизими файлининг номи кўрсатилади. Норавшан мантикий хулоса тизимларининг файллари **.fis** кенгайтмага эга. Норавшан мантикий хулоса тизимларини **Ctrl+N** тугмаларини босиш ёки **fuzzy FIS_name** командаси ёрдамида (бу ерда **FIS_name** – норавшан мантикий хулоса тизими файлининг номи) ҳам қаттиқ дискдан юклаш мумкин.



14.32-расм. Норавшан мантикий хулоса тизимини қаттиқ дискдан юклаш ойнаси.

Export командаси танланганда норавшан мантикий хулоса тизимининг нусхасини мос равишда MATLABнинг ишчи соҳасига ёки қаттиқ дискка ёзиш имкониятини берувчи **To Workspace...** ва **To disk** командалари чиқади. **To Workspace...** командаси танланганда ҳосил бўладиган диалог ойнада MATLAB нинг ишчи соҳаси сақланиши ке-
рак бўлган норавшан мантикий хулоса тизимининг номини ифодалов-
чи идентификатор кўрсатилиши керак. **To disk** командаси танланганда
ҳосил бўладиган диалог ойнада норавшан мантикий хулоса тизими
файлининг номи кўрсатилади. Норавшан мантикий хулоса тизимини
ишчи соҳага ва қаттиқ дискка кўчириш учун мос равишда **Ctrl+T** ва
Ctrl+S тугмасини босиш мумкин. **Print** командаси график ойна нусха-
сини принтерга чиқариш имкониятини беради. Босмага чиқариш учун
Ctrl+P тугмасини босиш ҳам мумкин.

Close командаси график ойнани ёнади. График ойнани **Ctrl+W** туг-
масини босиш билан ёпиш мумкин.

Edit менюси

Edit менюсининг умумий кўриниши 14.33-расмда келтирилган.

Undo	Ctrl+Z
Add Variable...	
Remove Selected Variable	Ctrl+X
Membership Functions...	Ctrl+2
Rules...	Ctrl+3

14.33-расм. Edit менюси.

Undo командаси аввал бажарилган амални бекор қилади. Аввал бажарилган амални **Ctrl+Z** тугмасини босиш йўли билан ҳам бекор қилиш мумкин. **Add Variable...** командаси норавайн мантикий хулоса тизимига яна битта ўзгарувчини қўшиш имкониятини беради. Ушбу команда танланганда ҳосил бўладиган **Input** ва **Output** командаларини танлаш йўли билан мос равишда кириш ва чиқиш ўзгарувчиларини қўшиш мумкин.

Remove Selected Variable командаси тизимдан жорий ўзгарувчини чиқариб ташлайди. Жорий ўзгарувчини унинг тўғри бурчакли тўртбурчагидаги қизил рангли ҳошиядан билиб олиш мумкин. Жорийга айлантириш учун ўзгарувчининг устида сичқончанинг чап тугмаси бир марта босилади. Жорий ўзгарувчини йўқотиш учун **Ctrl+X** тугмасини босиш ҳам мумкин.

Membership Function... командаси мансублик функциясининг редакторини очади. Ушбу командани **Ctrl+2** тугмасини босиб ҳам бажариш мумкин.

Rules... командаси билимлар базасининг редакторини очади. Ушбу редакторни **Ctrl+3** тугмасини босиб ҳам очиш мумкин.

View менюси

Ушбу меню норавайн мантикий хулоса системаларида ишлатиладиган ҳамма GUI-модуллар учун умумий. Менюнинг умумий кўриниши 14.34-расмда кўрсатилган. Ушбу меню норавайн мантикий хулосани визуаллаштириш ойнасини очиш (**Rules** командаси ёки **Ctrl+5** тугмасини босиш) ва мос норавайн мантикий хулоса тизимининг «кириш-чиқиш» юзасини чиқариш ойнасини очиш (**Surface** командаси ёки **Ctrl+6** тугмасини босиш) имкониятини беради.

Rules	Ctrl+5
Surface	Ctrl+6

14.34-расм View менюси.

And Method менюси

ВА мантикий операциясининг қуйидаги амалга оширишларини ўрнатади:

- **min** – минимум;
- **prod** – кўпайтириш.

Фойдаланувчи ВА мантикий операциясини амалга оширишнинг хусусий йўлини ҳам киритиш имкониятига эга. Бунинг учун **Custom...** командаси танланади ва ҳосил бўладиган график ойнада ушбу операцияни амалга оширувчи функциянинг номи ёзилади.

Or Method менюси

Ушбу меню ЁКИ операциясининг қуйидагича амалга оширишга имкон беради:

- **max** – кўпайтириш;
- **probor** – эҳтимолый ЁКИ.

Фойдаланувчи ЁКИ мантикий операциясини амалга оширишнинг хусусий йўлини киритиш имкониятига ҳам эга. Бунинг учун **Custom...** командаси танланади ва ҳосил бўладиган график ойнада ушбу операцияни амалга оширувчи функциянинг номи ёзилади.

Implication менюси

Ушбу меню импликацияни қуйидагича амалга оширишларни ўрнатиш имкониятини беради:

- **min** – минимум;
- **prod** – кўпайтириш.

Фойдаланувчи импликацияни амалга оширишнинг хусусий йўлини киритиш имкониятига ҳам эга. Бунинг учун **Custom...** командаси танланади ва ҳосил бўладиган график ойнада ушбу операцияни амалга оширувчи функциянинг номи ёзилади.

Aggregation менюси

Ушбу меню чиқиш ўзгарувчиси мансублик функцияларини бирлаштиришни қуйидагича амалга оширишларни ўрнатиш имкониятини беради:

- **max** – максимум;

- **sum** – жами;
- **probor** – эхтимоллий ЁЖИ.

Фойдаланувчи ушбу операцияни амалга оширишнинг хусусий йўлини киритиш имкониятига ҳам эга. Бунинг учун **Custom...** командаси танланади ва ҳосил бўладиган график ойнада ушбу операцияни амалга оширувчи функциянинг номи ёзилади.

Defuzzification менюси

Ушбу меню дефаззификация методини танлаш имкониятини беради. Мамдани турдаги тизимлар учун қуйидаги усуллар дастурланган:

- **centroid** – оғирлик маркази;
- **bisector** – медиана;
- **lom** – максимумларнинг энг каттаси;
- **som** – максимумларнинг энг кичиги;
- **mom** – максимумларнинг ўртачаси.

Сугэно турдаги тизимлар учун қуйидаги усуллар дастурланган:

- **wtaver** – муаллақ ўртача;
- **wtsum** – муаллақ йиғинди.

Фойдаланувчи дефаззификацияни амалга оширишнинг хусусий йўлини киритиш имкониятига ҳам эга. Бунинг учун **Custom...** командаси танланади ва ҳосил бўладиган график ойнада ушбу операцияни амалга оширувчи функциянинг номи ёзилади.

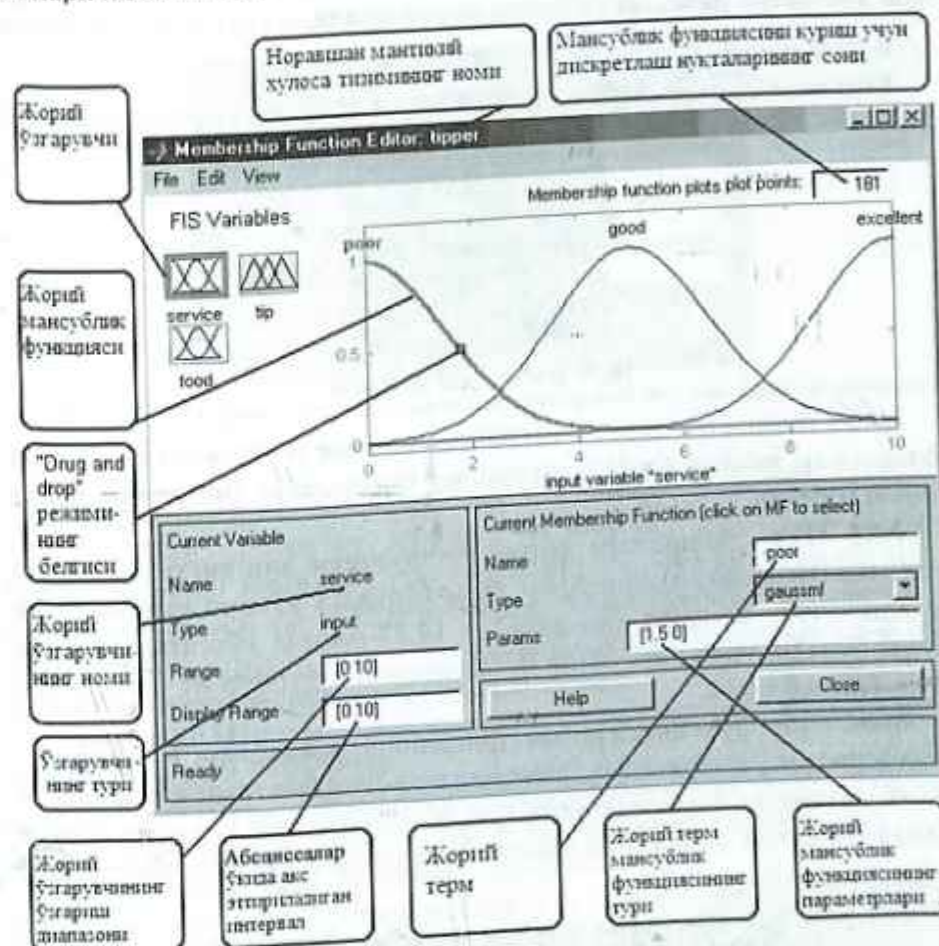
14.12. Мансублик функциясининг редактори

Мансублик функциясининг редактори – (**Membership Function Editor**) редактор (муҳаррир) кириш ва чиқиш ўзгарувчиларининг терм-кўпхадлари тўғрисидаги қуйидаги информацияни бериш учун мўлжалланган:

- термлар сони;
- термларнинг номлари;
- мансублик функцияларининг турлари ва параметрлари, улар норавадан кўпхадлар кўринишидаги лингвистик термларни тақдим қилиш учун зарур.

Мансублик функциясининг редактори норавадан мантиқий хулоса тизимлари билан ишлатиладиган ҳар қандай GUI-модулининг **Edit** менюсидаги **Membership Functions...** командаси ёрдамида ёки **Ctrl+2** тугмаларни босиш йўли билан чақирилиши мумкин. FIS-редакторда мансублик функцияси редакторини очиш учун кириш ёки чиқиш ўзгарувчиси майдонининг устида сичқончанинг чап тугмасини

тўхтовсиз икки марта босиш мумкин. Мансублик функцияси редакторининг умумий кўриниши, график ойнаси асосий майдонларининг функционал вазифалари билан биргаликда 14.35-расмда келтирилган. График ойнанинг пастки қисмида мос равишда маълумотлар ойнасини чақириш ва редакторни ёпиш имкониятини берувчи **Help** и **Close** тугмалари жойлашган.



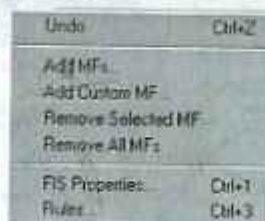
14.35-расм. Мансублик функцияси редактори.

Мансублик функцияси редактори тўртта меню - **File**, **Edit**, **View**, **Type** ва тўртта маълумот киритиш ойнасига – **Range**, **Display Range**, **Name**, **Params** эга. Ушбу тўртта ойна мос равишда жорий ўзгарувчининг ўзгариш диапазонини, мансублик функциясини чиқариш диапазонини, жорий лингвистик термининг номини ва унинг мансублик функциясини бериш учун мўлжалланган. Мансублик функциясининг параметрла-

рини график режимда мансублик функциясининг шаклини "Drug and drop" технологияси ёрдамида ўзгартириш йўли билан ҳам бериш мумкин. Бунинг учун сичқончанинг курсори "Drug and drop" режими белгисининг устига олиб келинади (14.35-расм), сичқончанинг чап тугмаси босилади ва қўйиб юборилмасдан суриб мансублик функциясининг шакли ўзгартирилади. Натижада мансублик функциясининг параметрлари автоматик равишда қайтадан ҳисобланади.

Edit менюси

Edit менюсининг умумий кўриниши 14.36-расмда келтирилган.

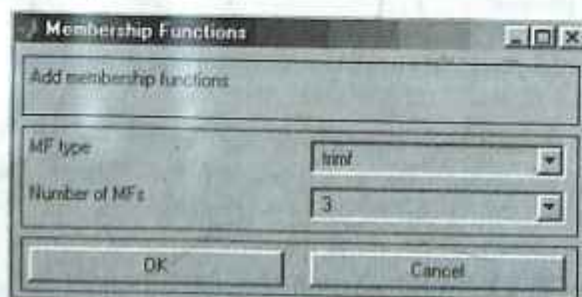


14.36-расм. Edit менюси.

Undo командаси аввал бажарилган амални бекор қилади. Аввал бажарилган амални **Ctrl+Z** тугмасини босиш йўли билан ҳам бекор қилиш мумкин.

Add MFs... командаси жорий ўзгарувчини лингвистик баҳолаш учун ишлатиладиган термларни терм-кўпхадга қўшиш имкониятини беради. Ушбу команда танланганда 14.37-расмда кўрсатилган ойна ҳосил бўлади, унда мансублик функциясининг турини ва термлар сонини танлаш керак.

Мансублик функцияси параметрларининг қийматлари **Range** ойнасида берилган ўзгарувчининг аниқлаш соҳасини бир текис копланйдиган қилиб автоматик тарзда ўрнатади. Ўзгарувчининг аниқлаш соҳаси **Range** ойнасида ўзгарганда мансублик функциясининг параметрлари қайта масштабланади.



14.37-расм. Термлар сонини ва мансублик функциясининг турини танлаш.

Add Custom MF... командаси мансублик функцияси бириктирилган лингвистик термнинг мансублик функциясидан фарқ қилувчи битта лингвистик терм қўшиш имкониятини беради. Ушбу команда танлангандан кейин 14.38-расмда кўрсатилган ойна ҳосил бўлади, унда лингвистик термнинг номини (**MF name** майдонида) мансублик функциясининг номини (**M-File function name** майдонида) ва мансублик функциясининг параметрларини (**Parameter list** майдонида) ёзиш керак.



14.38-расм. Мансублик функцияси бириктирилган лингвистик термни киритиш.

Remove Selected MF командаси жорий термни жорий ўзгарувчининг терм-тўпламидан чиқариб ташлайди. Жорий ўзгарувчининг туртбурчагининг ҳошияси қизил рангда бўлади. Жорий термнинг мансублик функцияси қизил рангда бўлади. Жорий термни танлаш учун сичқончанинг курсори мансублик функциясининг графигига олиб келинади ва сичқончанинг чап тугмаси босилади.

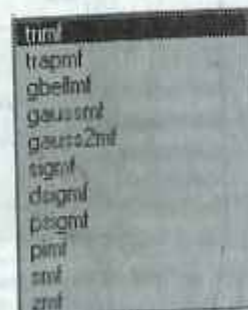
Remove All MFs командаси жорий ўзгарувчининг терм-кўпхадидан ҳамма термларни йўқ қилади.

FIS Properties... командаси FIS-редакторни очади. Ушбу команда **Ctrl+1** тугмаларни босиш йўли билан ҳам бажарилиши мумкин.

Rules... командаси билимлар базасининг редакторини очади. Ушбу команда **Ctrl+3** тугмаларни босиш йўли билан ҳам бажарилиши мумкин.

Type менюси

Type менюси жорий ўзгарувчини лингвистик баҳолаш учун ишлатиладиган термлар мансублик функцияларининг турини ўрнатиш имкониятини беради. Мансублик функциясининг мумкин бўлган турлари кўрсатилган **Type** менюси 14.39-расмда келтирилган.

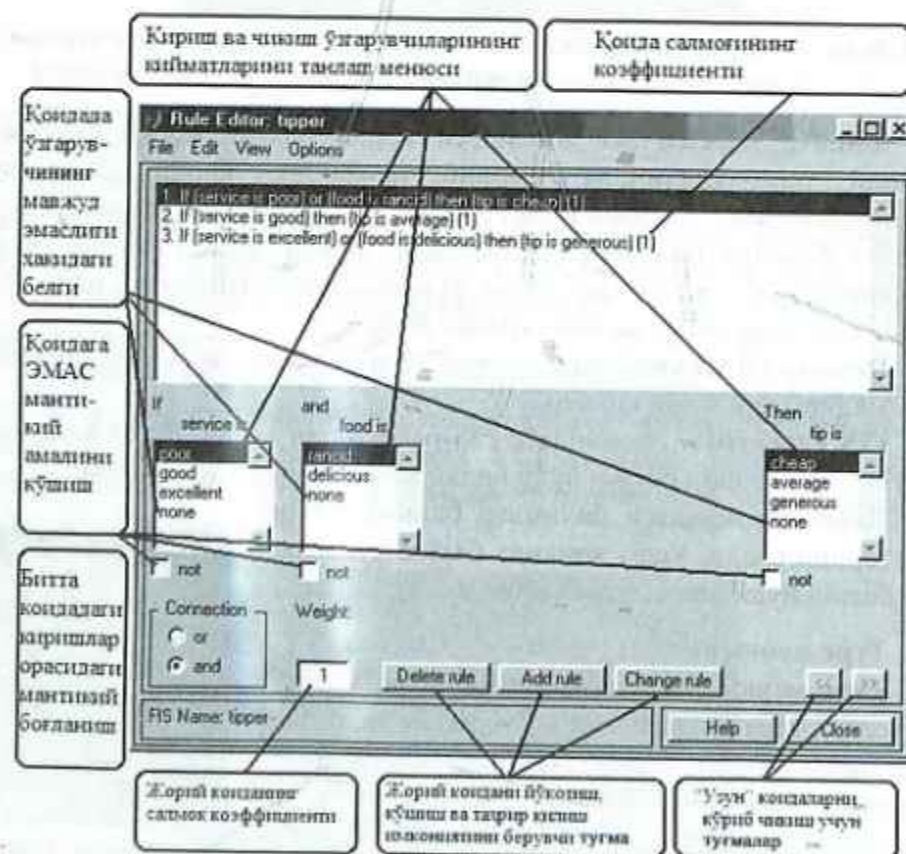


14.39-расм. Type менюси.

14.13. Билимлар базасининг редактори

Билимлар базасининг редактори (**Rule Editor**) норавшан қондаларни шаллантириш ва ўзгартириш учун мўлжалланган. Билимлар базасининг редакторини норавшан мантикий хулоса тизимлари билан ишлатиладиган ҳар қандай GUI-модулнинг **Edit** менюсидан **Rules...** командаси ёрдамида ёки **Ctrl+3** тугмаларни босиш йўли билан чақириш мумкин. FIS-редакторда билимлар базасининг редакторини график ойнанинг ўртасида жойлашган норавшан мантикий хулоса тизимининг номи ёзилган тўртбурчакнинг устида сичқончанинг чап тугмасини икки марта тўхтовсиз босиш йўли билан очиш мумкин.

Билимлар базаси редакторининг умумий кўриниши график ойнаси асосий майдонларининг функционал вазифалари кўрсатилган ҳолда 14.40-расмда келтирилган. График ойнанинг пастки қисмида мос равишда маълумотлар ойнасини чақирувчи ва редакторни ёпувчи **Help** ва **Close** тугмалари жойлашган.



14.40-расм. Билимлар базасининг редактори.

Мансублик функциясининг редактори тўртта тизим менюлари-**File, Edit, View, Options**, кириш ва чиқиш ўзгарувчилари термларини танлаш менюси, **BA, ЁКИ, ЭМАС** мантикий амаллар ва қондаларнинг салмоқларини ўрнатиш майдонлари ҳамда қондаларни таҳрир қилиш ва кўриб чиқиш тугмаларини ўз ичига олади.

Янги қондани билимлар базасига киритиш учун қуйидаги ишлар бажарилади:

- кириш ва чиқиш ўзгарувчилари термларининг мос лингвистик комбинацияси сичқонча ёрдамида танланади;
- қонданинг ичида ўзгарувчилар орасидаги мантикий боғланишнинг (**BA** ёки **ЁКИ**) тури ўрнатилади;
- ҳар бир лингвистик ўзгарувчи учун **ЭМАС** мантикий амалнинг мавжудлиги ёки йўқлиги ўрнатилади;
- қонда салмоқ коэффициентининг қиймати киритилади;
- **Add Rule** тугмаси босилади.

Сукут бўйича қуйидаги параметрлар ўрнатиладиган:

- қонда ичидаги ўзгарувчиларнинг мантикий боғланиши – **BA**;
- **ЭМАС** мантикий амали – мавжуд эмас;
- қонда салмоқ коэффициентининг қиймати – 1.

Агар кириш ўзгарувчисининг ихтиёрий қийматлари ҳам норавшан мантикий хулосанинг қийматига таъсир қилмаса, бундай кириш ўзгарувчисининг қиймати сифатида **none** ўрнатилиши керак.

Қондани билимлар базасидан йўқотиш учун ушбу қонданинг устида сичқончанинг чап тугмаси бир марта босиб қўйиб юборилади, кейин **Delete Rule** тугмаси босилади.

Қондани ўзгартириш учун унинг устида сичқончанинг чап тугмаси бир марта босиб қўйиб юборилади ва кейин **Edit Rule** тугмаси босилади.

Edit менюси

Edit менюсининг умумий кўриниши 14.41-расмда келтирилган.

Undo	Ctrl+Z
FIS Properties...	Ctrl+1
Membership Functions...	Ctrl+2

14.41-расм. Edit менюси.

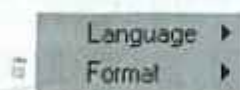
Undo командаси аввал бажарилган амални бекор қилади. Ушбу амални **Ctrl+Z** тугмаларини босиш йўли билан ҳам бажариш мумкин.

FIS Properties... командаси FIS-редакторни очади. Ушбу амални **Ctrl+1** тугмаларини босиш йўли билан ҳам бажариш мумкин.

Membership Function... командаси мансублик функцияси редакторни очади. Ушбу амални **Ctrl+2** тугмаларини босиш йўли билан ҳам бажариш мумкин.

Options менюси

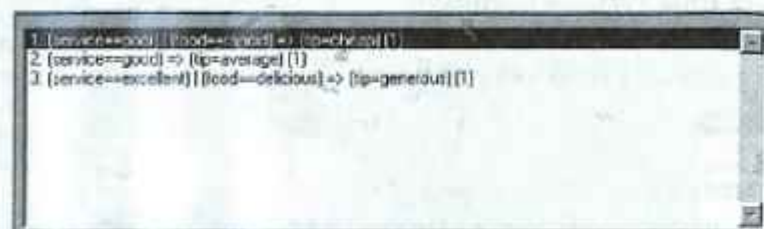
Options менюси билимлар базаси қодаларининг тили ва формати-ни ўрнатиш имконини беради (14.42-расм).



14.42-расм. Options менюси.

Language командаси танланганда тиллар рўйхати чиқади: **English** (Инглизча), **Deutsch** (Немисча), **Francais** (Французча), улардан битта-сини танлаш керак.

Format командаси танланганда билимлар базаси қодаларининг мумкин бўлган форматларининг рўйхати чиқади: **Verbose** - лингвистик; **Symbolic** - мантикий; **Indexed** - индексланган. **Tipper** норав-шан мантикий хулоса демотизими билимлар базасининг турлича форматлари қуйидаги: 14.40-расмда **Verbose** қодаларининг форма-ти, 14.43-расмда **Symbolic** қодаларининг формати ва 14.44-расмда **Indexed** қодаларининг формати келтирилган.



14.43-расм. Symbolic форматидаги билимлар базаси.



14.44-расм. Indexed форматидаги билимлар базаси.

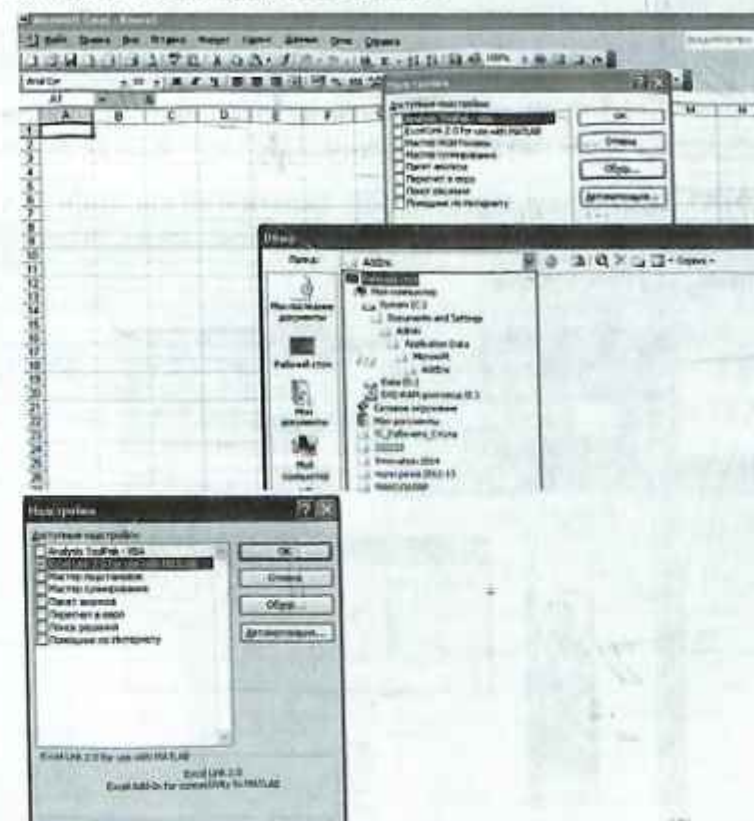
XV БОБ. MATLAB ВА EXCEL ОРАСИДА МАЪЛУМОТЛАР АЛМАШИНУВИ

MATLAB таркибида бўлган **Excel Link** воситаси **Excel** ва **MatLab** ни ўзаро боғлаш имконини беради. У ўрнатилгандан кейин **Excel** саҳифасида жадвал кўринишида сақланаётган маълумотларни матри-ца кўринишида **MATLAB** га ўтказиш ва қайта ишлаб қайтариш мум-кин. Бунда формулалар эмас, фақат қийматларнинг ўзаро алмашинуви амалга оширилади.

Excel Link ўрнатилгандан кейин **Microsoft Excel** дан **MATLAB** нинг қиритиш - чиқариш процессори сифатида фойдаланиш мумкин.

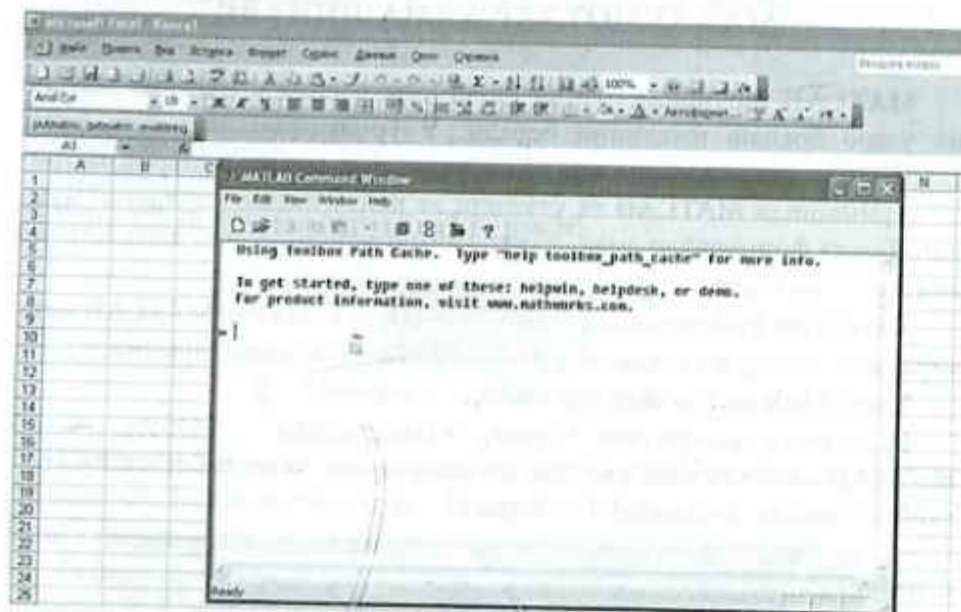
Excel Link ни **Excel** га ўрнатиш.

Excel ишга туширилади: **Сервис** → **Надстройки...** → **Обзор...** → **c:\MATLAB\toolbox\exlink\exclink.xls** (ёки шунга ўхшаш бошқа йўл би-лан **exclink.xls** босилади). (15.1-расм).



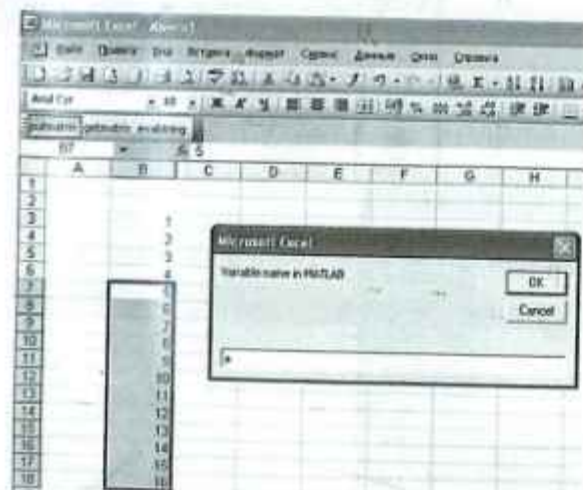
15.1-расм. Excel Link ни Excel га ўрнатиш.

Натижада Excel менюсига putmatrix – getmatrix – evalstring бўлими қўшилади ва MATLAB нинг Command Window ойнаси очилади (15.2-расм):



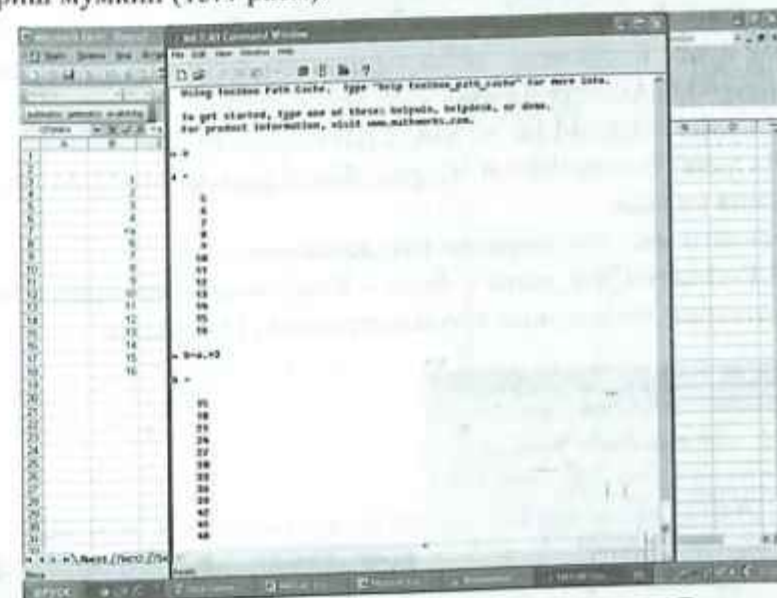
15.2-расм. Excel менюсига қўшиладиган putmatrix – getmatrix – evalstring бўлимлари.

PUTMATRIX – Excel жадвалининг ажратилган қисмини MATLAB га ўтказди (бунда ўказилаётган матрица кўринишидаги жадвалга ном берилиши керак) (15.3-расм):



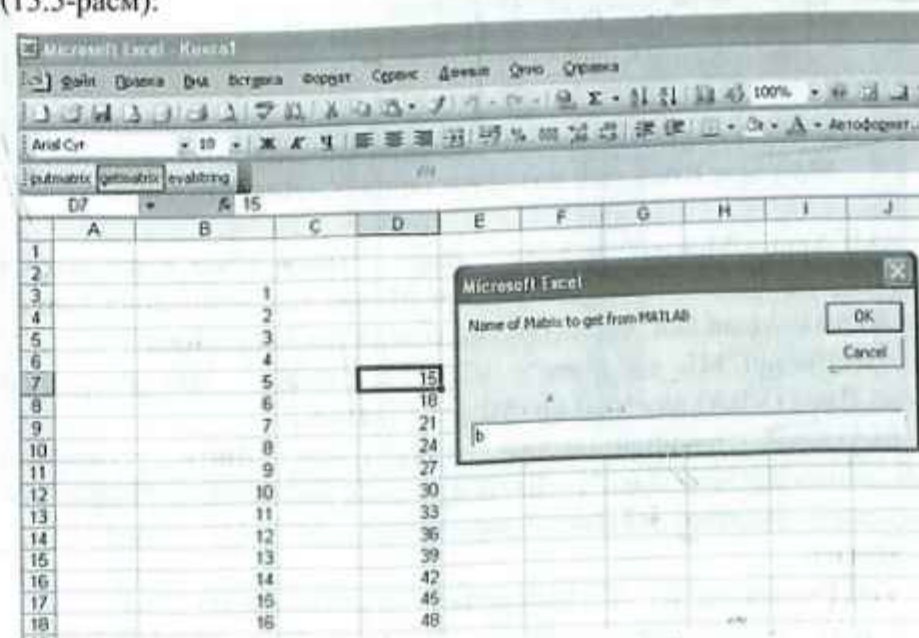
15.3-расм. PUTMATRIX бўлимидан фойдаланиш.

Энди қабул қилинган маълумотлар устида MATLAB амалларини бажариш мумкин (15.4-расм):



15.4-расм. Қабул қилинган маълумотлар устида MATLAB амалларини бажариш.

GETMATRIX – MATLAB даги матрицани Excel га жойлаштиради (15.5-расм):



15.5-расм. GETMATRIX бўлимидан фойдаланиш.

EVALSTRING – MatLab буйруқларини киритиш ва бажариш имконини беради.

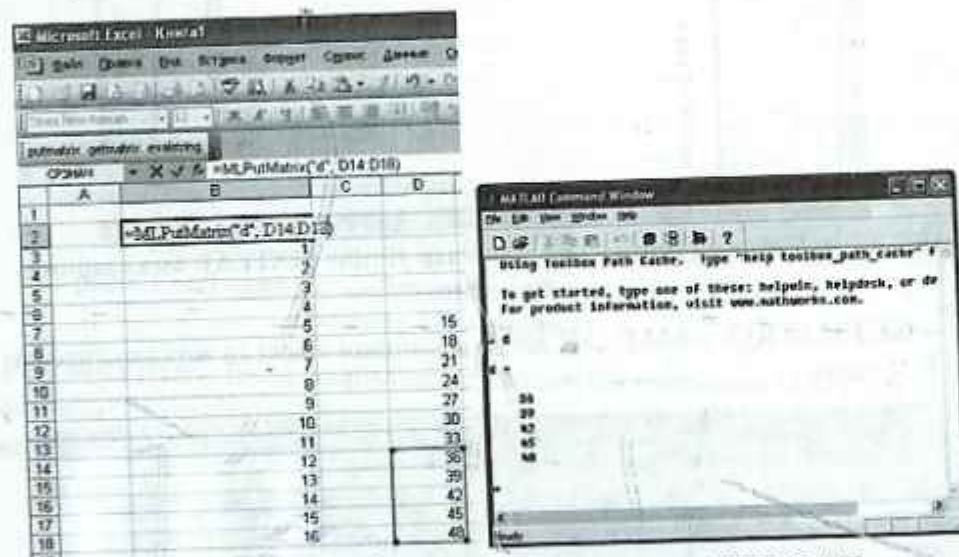
Агар MatLab автоматик тарзда Excel билан биргаликда ишга тушиши керак бўлса Excel нинг бирор ячейкасида қуйидаги командани териш керак: `=MLAutoStart("no")`.

`=MLClose()` – Excel Link ва MATLAB ни беркитади;

`=MLOpen()` ёки `matlabinit` макрос – Excel Link ва MATLAB ни инициализация қилади.

Excel даги маълумотларнинг нусхасини олиш

`=MLPutMatrix("var_name"; diap)` – Excel нинг diap диапазонидаги маълумотларни var матрицага жойлаштиради (15.6-расм):



15.6-расм. Excel даги маълумотларнинг нусхасини олиш.

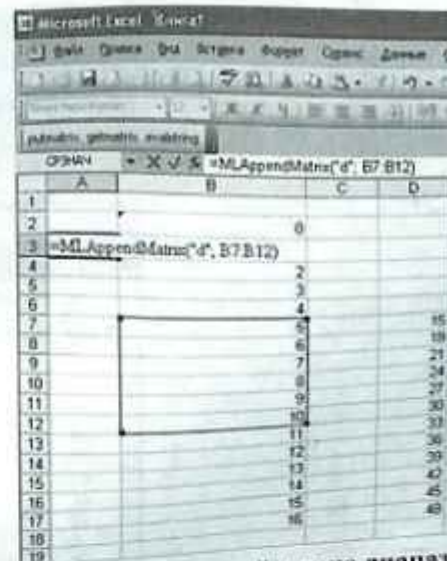
`=MLAppendMatrix("var_name"; diap)` – мавжуд var_name матрицага diap диапазонни қўшади; ўлчами бўйича маълумотларни қандай қўшишни (чапдан ёки ўнгдан) функциянинг ўзи аниқлайди;

`=MLPutVar("ML_var_name"; VBA_var_name)` – маълумотларни Visual Basic (VBA) дан MatLab (ML) га ўтказиш.

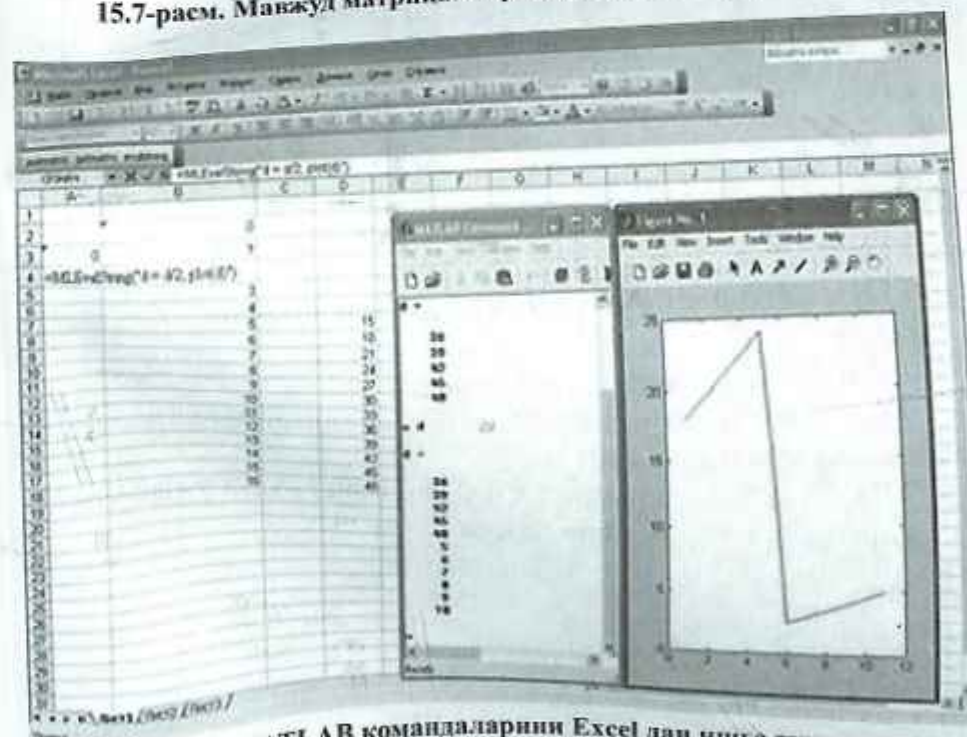
MATLAB командаларини Excel дан ишга тушириш `=MLEvalString("command")` – Excel да турган ҳолда ML командаси ёки командани бажариш (15.7 ва 15.8-расмлар):

Мисол:

`=MLEvalString("d = d/2; plot(d)")`



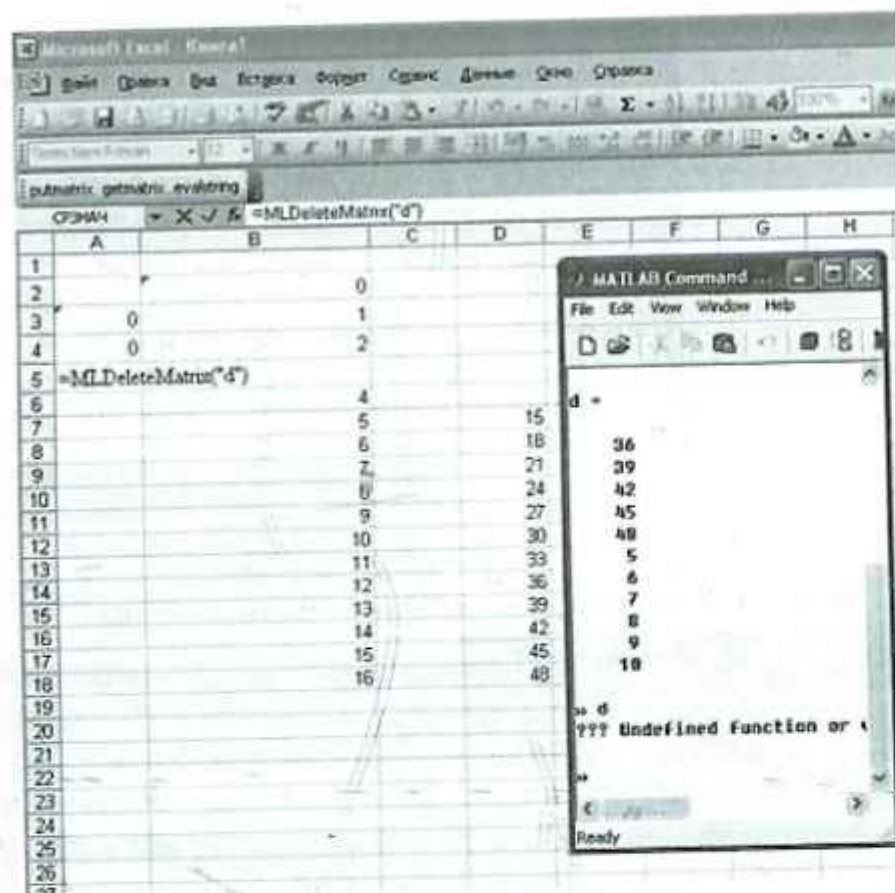
15.7-расм. Мавжуд матрицага қўшимча диапазонни қўшиш.



15.8-расм. MATLAB командаларини Excel дан ишга тушириш.

MATLAB ўзгарувчисини йўқотиш.

`=MLDeleteMatrix("var_name")` – матрицани йўқотиш (15.9-расм):



15.9-расм. MATLAB ўзгарувчисини йўқотиш.

Маълумотларни Excel га жойлаштириш
`=MLGetMatrix("var_name"; "diar")` – матрицани Excel нинг diar
 диапазонида жойлаштиради;
`=MLGetVar("ML_var_name"; VBA_var_name)` – VBA ўзгарувчисига
 ML матрицасининг қийматини беради.

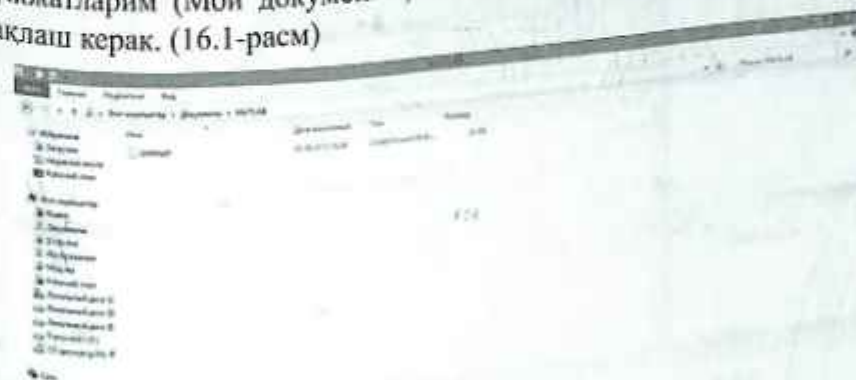
XVI БОБ. ЭКГ СИГНАЛЛАРНИ ҚАЙТА ИШЛАШ

Электрокардиограмма (ЭКГ) ўлчаш диагностик воситаси сифатида юрак электр фаолиятини батафсил қайд қилади. Бу тафсилотлар талқини асосида ҳаёти хавф остида қолган беморларга тўлиқ ташхис қўйилади.

ЭКГ сигналлар компьютер ёрдамида олинган натижаларни қайта ишлаш ва ташхис қўйиш жараёнини янада оптималлаштириши мумкин.

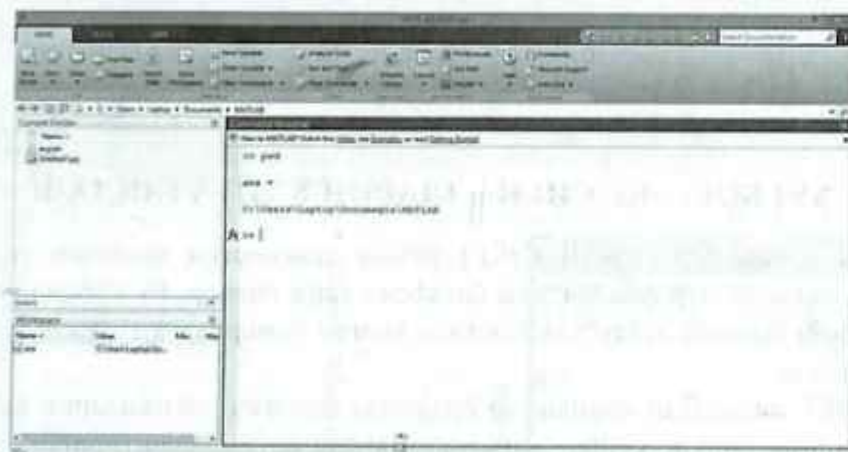
Матлаб муҳитида ҳар қандай турдаги файллари ўқитиш, улар устида амаллар бажариш имкони мавжуд. Булар Word, Excel ва бошқа дастурлар муҳитида тайёрланган файллар мисол бўла олади. Улардан бири қандай ўқитиш ва амаллар бажаришнинг кўриб чиқайлик. Мисол учун электрокардиограмма сигнали *.txt турдаги файлни ўқитиш қандай бўлишини кўриб чиқайлик.

Бунинг учун *.txt файлни компьютерга MATLABни Менинг хужжатларим (Мои документы) папкасига сақланган директорияга сақлаш керак. (16.1-расм)



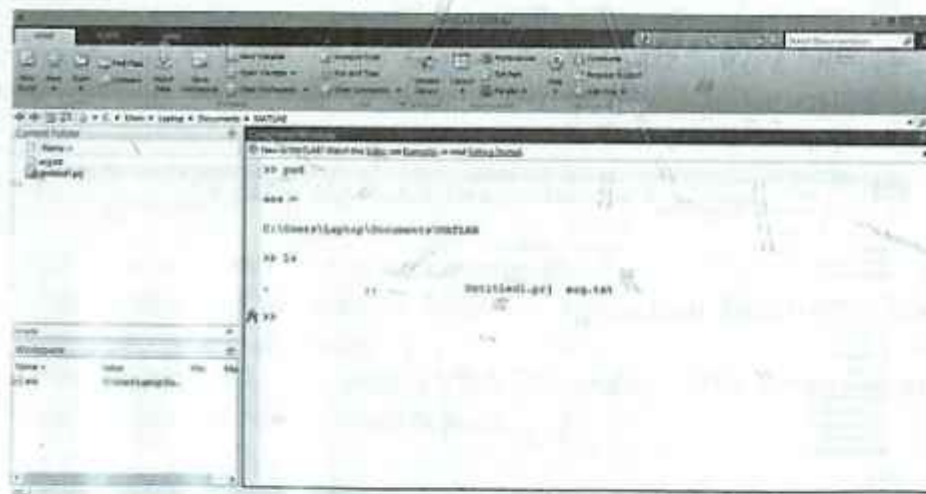
16.1-расм. *.txt типдаги файлни сақлаш.

MATLABда файлни ўқиш учун сақланган жойни текширамиз. Бунинг учун pwd сўзини ёзиб «Enter» тугмаси босилади, файллар турган жой танланади (16.2-расм).



16.2-расм. pwd командаси билан текшириш.

Бунда бизга MATLABда ишланган ишламалар сақланиш жойини кўрсатади. Юқорида кўриб турган расмда келтирилган. Кейинги босқичда ls сўзи орқали папкада жойлашган файллар рўйхатини кўришимиз мумкин. (16.3-расм)

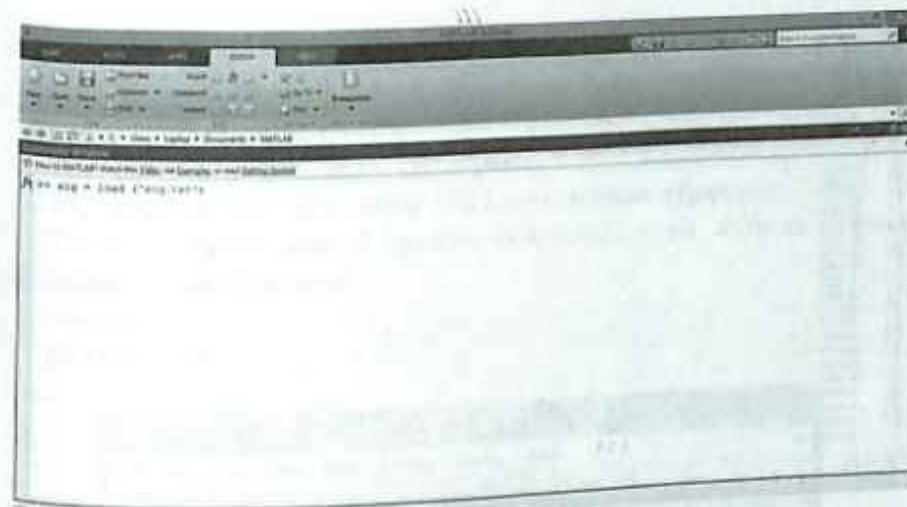


16.3-расм. ls командаси билан файлларни кўриш.

Бу ерда 2 та файл бўлиб бири MATLAB дастурида ишланган лойиҳа ва иккинчиси ecg.txt файлидир. Шунинг билан бирга файлларни сақлашда лотин графикаси қўлланилиши мақсадга мувофиқдир. Чунки MATLAB дастурида асосан лотин графикаси билан ишланади.

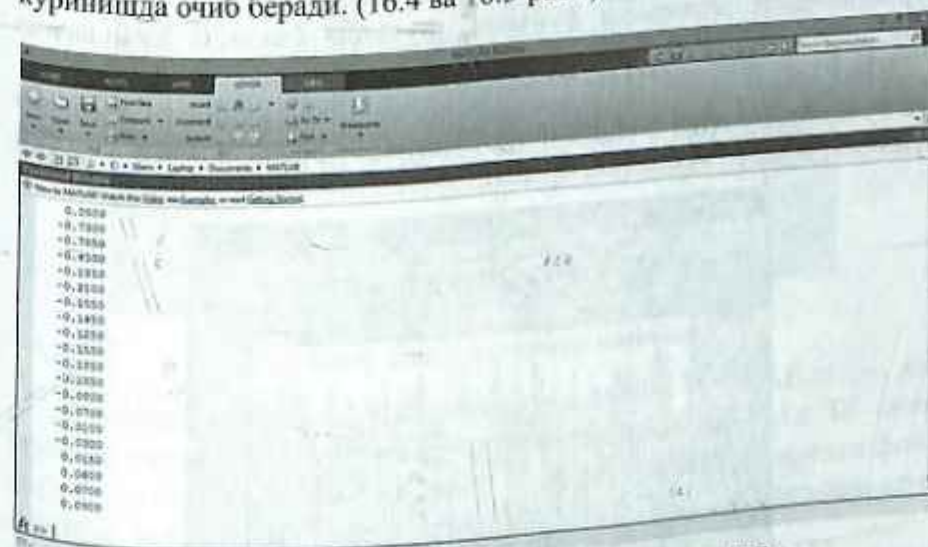
Энди файлни ички тузилиши MATLAB дастурида ўқитиш учун қуйидагича командани берамиз.

```
sig = load('ecg.txt');
```



16.4-расм. load командаси билан файлни ўқитиш.

бу ерда load функцияси орқали файлни ички мухитини ўқиб олинади. Шунинг билан бирга агар кодлар кетма-кетлигини давом эттиришни хоҳласангиз охирида (;) қўйишни унутманг. Агар сиз ушбу белги қўймасангиз файлни ички мухитини MATLAB мухитида қуйидаги кўринишда очиб беради. (16.4 ва 16.5-расм)



16.5-расм. Ўқилган файлни ички тузилиши.

Лекин файл устида амаллар бажармоқчи бўлсангиз кодларни ёзишда сатр охирига (;) қўйишингиз мақсадга мувофиқ. Агар сиз мухитни тозаломоқчи бўлсангиз, қуйидаги функцияни чақиришингиз керак. clc функция ёрдамида мухит тозаланади. (16.6-расм)



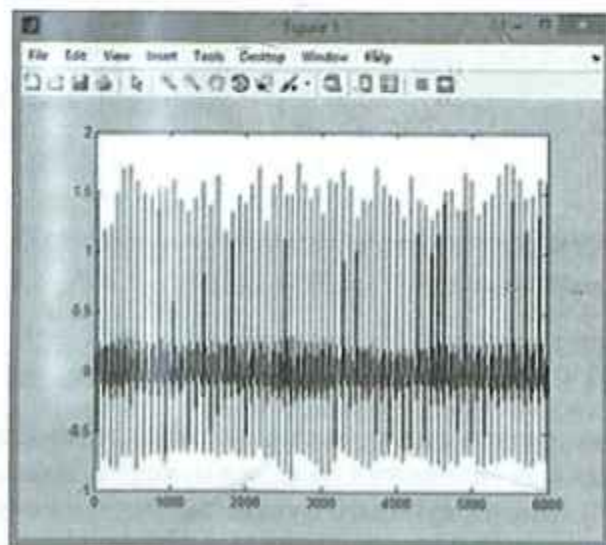
16.6-расм. cLc командаси билан тозалани.

Файлни ички тузилишдан фойдаланиб график кўриниши яратиш учун қуйидагича код ёзилади.

```
sig = load('ecg.txt');
plot(sig);
```

Бу ерда файлни график тасвирда яратилади. plot бу график кўринишидаги тасвирлаш функция. Функция ёзилиши қуйидагича plot(funksiya nomi). Бу ерда кавс ичида жорий этилган функция номи.

Юқоридаги калит сўздан фойдаланган ҳолда қуйидаги тасвирга эга бўламиз. Бу ерда файлни ички муҳитидан фойдаланган x ва y ўқи бўйича график бўламиз (16.7-расм).



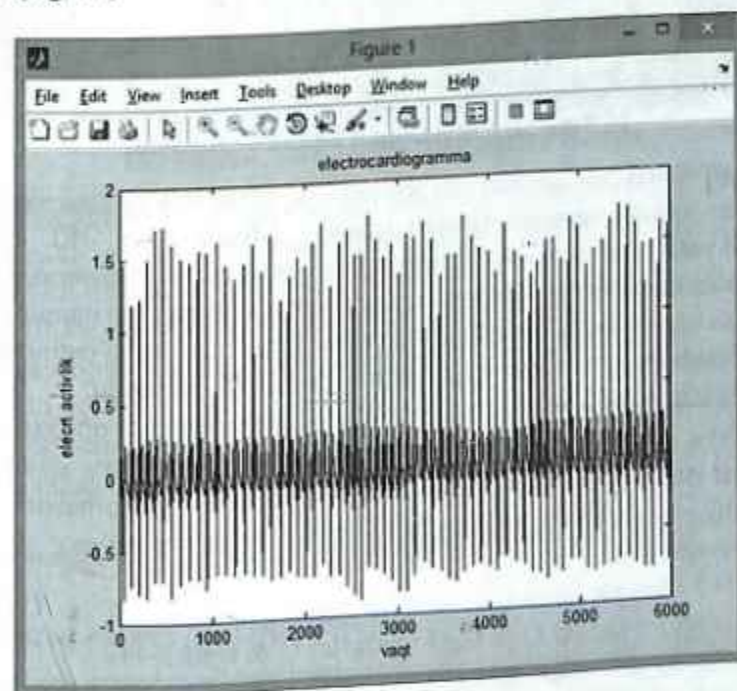
16.7-расм. Олинган сигнал кўриниши.

График тасвирнинг x ва y ўқларини номлаш қуйидагича ёзилади:

```
xlabel('vaqt');
ylabel('electr aktivlik');
title('elektrocardiogramma'); (16.8-расм)
```

16.7-расмда ЭКГ сигналининг 100 Гц частотали кўриниши берилган. Сигнал кўринишининг 0 орқали белгилаш учун қуйидаги калит сўзлардан фойдаланилади.

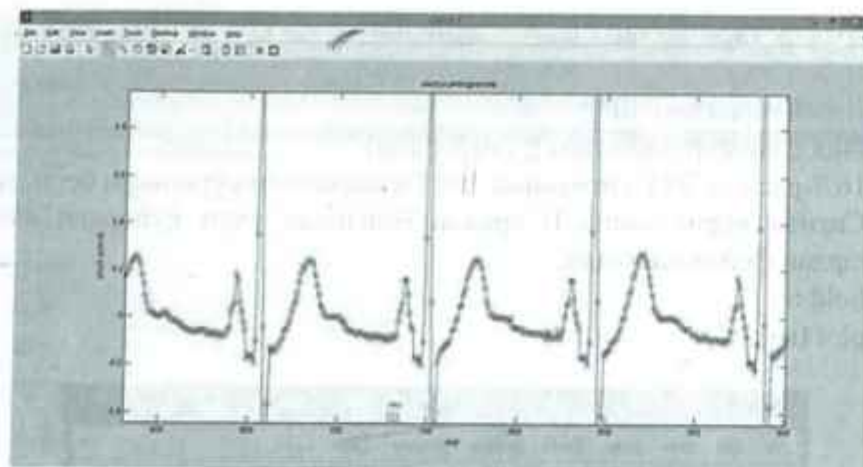
```
hold on
plot(sig,'ro')
```



16.8-расм. x ва y ўқларини номлаш.

Дастурлаш тилида го сўзи нолини ифодалайди. MATLABда ҳам дастурлаш тилларини калит сўзлари ўрнида фойдаланилади. Шунинг учун C++, Java ва бошқа дастурлаш тилининг калит сўзларидан фойдаланган ҳолда ўзингиз учун керакли бўлган натижага эришишингиз мумкин.

Юқоридаги калит сўздан кейин ҳосил бўлган натижа 16.9-расмда келтирилган.



16.9-расм. Сигнални 0 билан белгилаш.

Бундай белгилаш орқали сиз эришилган натижада қандай хатоликлар борлигини кўриш имкониятингиз мавжуд. Мисол учун ЭКГ сигнални MATLAB қайта ишлаш орқали инсон кўзи орқали аниқланмаган хатоликларни аниқлаш мумкин. Юқорида кўриб турган расмда сигнални ўзгариш жараёнида каерларида тербранишларнинг ўзгарганлиги кўришимиз мумкин. Ўзгаришларнинг асосий жойлари 0 билан белгиланган.

Сигналга ишлов бериш жараёнида edit функцияси орқали дастурлаш орқали натижаларни таҳлил қилиш имконияти ҳам мавжуд. Бунинг учун edit функцияси орқали м-файл муҳитини чақирамиз.

Бунинг учун м-файл ойнасида қуйдаги кодларни ёзамиз.

```
beat_count = 0;
for k = 2 : length(sig)-1
    if (sig(k) > sig(k-1) & sig(k) > sig(k+1) & sig(k) > 1)
        beat_count = beat_count + 1;
    end
end
```

end

fs = 100;

N = length(sig);

duration_in_seconds = N/fs;

duration_in_minutes = duration_in_seconds/60;

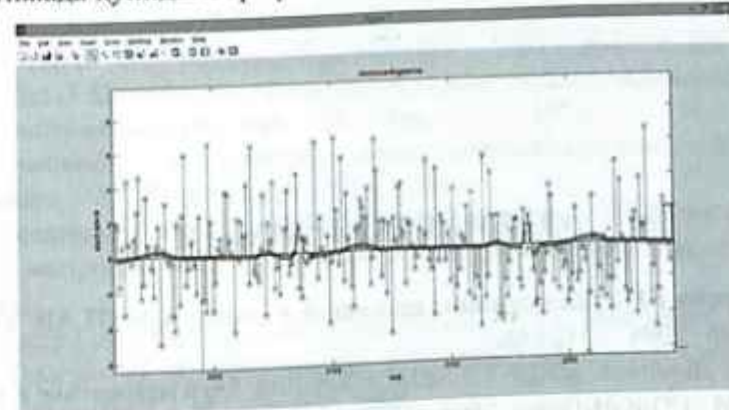
BMP = beat_count/duration_in_minutes;

Ушбу дастур орқали юрак уришини ЭКГ сигнали ёрдами 1 дақиқада нечталиги аниқланади. ЭКГ сигналлари одатда юракнинг қандай ҳолатда эканлиги аниқлашга ёрдам беради.

ЭКГ сигналлини рақамли қийматларини ўзгаришларини аниқлаш ва график кўринишга аниқлаш учун қуйдаги функция ёзилади.

stem (функция ёки ўзгарувчи)

Натижада қуйидаги график ҳосил бўлади. (16.10-расм)



16.10-расм. ЭКГ сигналлини ҳосил қилиш.

Графикдан олинган натижалар асосида таххис кўйишда фойдаланиш имкони мавжуд. Шунинг билан бирга MATLAB дастури Фурье ўзгартириш қаторини аниқлаш қуйидагича:

$y = \text{fft}(\text{ўзгарувчи ёки жорий этилган функция});$

бизда жорий этилган функция sig деб белгиланган:

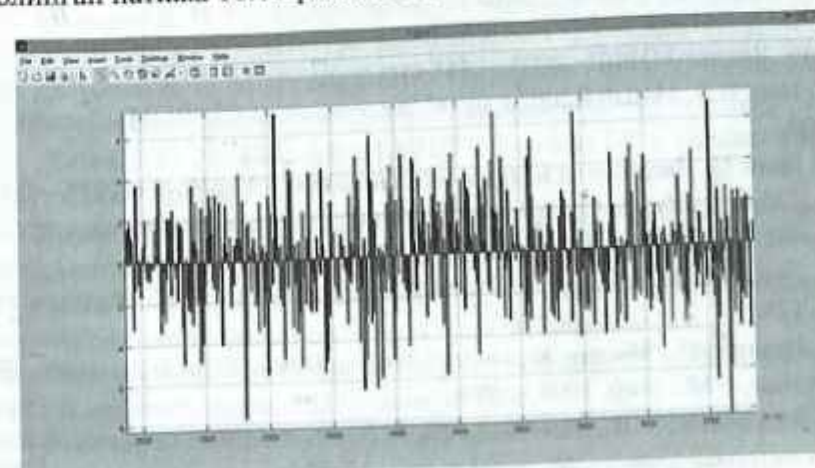
$y = \text{fft}(sig)$

Бунинг натижасида сигнал гармоникалари аниқланади. Аниқланган гармоникалар графиги яратиш учун қуйидаги функциядан фойдаланилади.

bar(Фурье ўзгартириши функция номи ёки ўзгарувчи)

bar(y);

олинган натижа 16.11-расмда берилган.



16.11-расм. Фурье ўзгартириш орқали олинган натижа.

АДАБИЁТЛАР РЎЙХАТИ

1. Лазарев Ю. Моделирование процессов и систем в MATLAB. Учебный курс. Питер · 2004. – 512 стр.
2. В.П. Дьяконов. Matlab 6.5 SP1/7 + Simulink 5/6 в математике и моделировании. М.: СОЛОН-Пресс, 2005. – 576с.
3. В.П. Дьяконов. Matlab 6.5 SP1/7 + Simulink 5/6. Основы применения. М.: СОЛОН-Пресс, 2005. – 800с.
4. Герман-Галкин С. Г. Силовая электроника. Лабораторные работы на ПК. – СПб.: Учитель и ученик, КОРОНА принт, 2002. – 304с.
5. Hunt B.R. Matlab. Официальный учебный курс Кембриджского университета. Триумф · 2008.
6. Мейтин М. Фотовольтаика: материалы, технологии, перспективы // Электроника. 2002. – №6. – сс. 25-33.
7. Дадажонов Т., Мухитдинов М. MATLAB асослари. – Т.: Фан, 2008. – 620 б.
8. MATLAB help files. Mathworks Inc, 2004.
9. Exponenta.ru сайтининг ресурслари (<http://www.exponenta.ru>).
10. Новгородцев А. Б. Расчет электрических цепей в MATLAB. Учебный курс. Издательство "Питер", 2003 г. – 256 стр.
11. В. Г. Потемкин. MATLAB 6: среда проектирования инженерных приложений. Диалог-МИФИ · 2003. – 448 стр.
12. Hunt B.R. Matlab R2007 с нуля! (видеокурс на CD-ROM). Лучшие книги · 2008.
13. Аоки М. Введение в методы оптимизации. – М.: Наука, 1977. – 344 с.
14. Табак Д., Куо Б. Оптимальное управление и математическое программирование. – М.: Наука, 1975. – 280с.
15. Банди Б. Методы оптимизации. Вводный курс. – М.: Радио и связь, 1988. – 128с.
16. Каханер Д., Моулер К., Нэш С. Численные методы и математическое обеспечение. – М.: Мир, 1998. – 575 с.
17. Васильков Ю. В., Василькова Н. Н. Компьютерные технологии вычислений в математическом моделировании. – М.: Финансы и статистика, 1999. – 256 с.

18. Дьяконов В., Круглов В. Математические пакеты расширения MATLAB. Специальный справочник. – СПб.: Питер, 2001. – 480 с. (Пакет Optimization Toolbox – с. 376–436.)
19. Zadeh L. sets // Information and Control. – 1965. – №8. – P. 338–353.
20. Зода Л. Понятие лингвистической переменной и ее применение к принятию приближенных решений. – М.: Мир, 1976. – 167 с.
21. Орловский С.А. Проблемы принятия решений при нечеткой исходной информации. – М.: Радио и связь, 1981. – 286 с.
22. Ротштейн А.П., Штовба С.Д. Влияние методов дефазификации на скорость настройки нечеткой модели // Кибернетика и системный анализ. – 2002. – №1.
23. Fuzzy Logic Toolbox. User's Guide, Version 2. The MathWorks, Inc., 1999.
24. Дьяконов В. П., Абраменкова И. В. MATLAB 5.0/5.3. Система символьной математики. – М.: Нолидж, 1999.
25. Дьяконов В. П., Абраменкова И. В., Круглов В. В. MATLAB 5 с пакетами расширений. – М.: Нолидж, 2001.
26. Дьяконов В.П. MATLAB: Учебный курс. – СПб.: ПИТЕР, 2001.
27. Дьяконов В.П. MATLAB 6: Учебный курс. – СПб.: ПИТЕР, 2001.
28. Дьяконов В. П. Simulink 4: Специальный справочник. – СПб.: ПИТЕР, 2002.
29. Дьяконов В. П., Круглов В. В. Математические пакеты расширения MATLAB: Специальный справочник. – СПб.: ПИТЕР, 2001.
30. Дьяконов В. П., Круглов В. В. MATLAB. Анализ, идентификация и моделирование систем: Специальный справочник. – СПб.: ПИТЕР, 2002.
31. Дьяконов В. П., Абраменкова И. В. MATLAB. Обработка сигналов и изображений: Специальный справочник. – СПб.: ПИТЕР, 2002.
32. Дьяконов В. П. MATLAB 6/6.1/6.5 + Simulink 4/5 в. Основы применения: Полное руководство пользователя. – М.: Солон_Р, 2002.
33. Дьяконов В. П. MATLAB 6/6.1/6.5 + Simulink 4/5 в в математике и моделировании: Полное руководство пользователя. – М.: Солон_Р, 2002.
34. Дьяконов В. П. MATLAB 6/6.1/6.5 + Simulink 4/5 в. Обработка сигналов и изображения: Полное руководство пользователя. – М.: Солон_Р, 2004.
35. Дьяконов В. П. MATLAB 6.5 SP1/7 + Simulink 5/6 в. Основы применения. – М.: Солон_Р, 2005.
36. Дьяконов В. П. MATLAB 6.5 SP1/7 + Simulink 5/6 в в математике и моделировании. – М.: Солон_Р, 2005.
37. Дьяконов В. П. MATLAB 6.5 SP1/7 + Simulink 5/6 в. Обработка сигналов и проектирование фильтров. – М.: Солон_Р, 2005.
38. Дьяконов В. П. MATLAB 6.5 SP1/7 + Simulink 5/6 в. Работа с изображениями и видеопотоками. – М.: Солон_Р, 2005.
39. Дьяконов В. П., Круглов В. В. MATLAB 6.5 SP1 7/7 SP1/7 SP2 + Simulink 5/6 в. Инструменты искусственного интеллекта и биоинформатики. – М.: Солон ПРЕСС, 2006.

40. Дьяконов В. П. VisSim+Mathcad+MATLAB. Визуальное математическое моделирование. – М.: Солон Пресс, 2004.
41. Говорухин В., Цибулин В. Компьютер в математическом исследовании. Учебный курс. – СПб.: Питер, 2001. – 624 с., ил.
42. Глушаков С.В., Жакин И.А., Хачиров Т.С. Математическое моделирование: Mathcad 2000, MATLAB 5. Учебный курс. – Харьков.: Фолио, 2001. – 524 с.
43. Мартынов Н. Введение в MATLAB 6. – М.: Кудиц-образ, 2002. 6. Дьяконов В. Matlab 6. Учебный курс. – СПб.: Питер, 2001.
44. Потемкин В. Введение в MATLAB. – М.: Диалог-МИФИ, 2000
45. Даффи Д.А., Бекман У.А. Тепловые процессы с использованием солнечной энергии. – М.: Мир, 1977. – 305 с.
46. Мухитдинов М. Кулматов Х. Ўлчов датчиклари. – Тошкент, 2014.
47. Мухитдинов М.М., Дадажонов Т. Виртуал электроника – «Фан нашриёти», Ташкент – 2009.
48. Мухитдинов М.М., Г.Цой, Дадажонов Т. Основы исследования систем связи и передачи данных на персональном компьютере – «ФАН», Ташкент–2010.
49. Дадажонов Т., Тожибоев А., Кулматов Х. Расчет инветора для мобильного источника бесперебойного питания– Ахборот коммуникациялар: Тармоқ Технологиялар Ечимлар 2013 №1(25)
50. Мухитдинов М.М., Цой Г., Кулматов Х. Система для регистрации и исследования фонокардиограммы – Ахборот коммуникациялар: Тармоқ Технологиялар Ечимлар 2012 №2(22).
51. Мухитдинов М.М., Кулматов Х. Куёш фотоэлектрик панелларни узлуксиз электр энергия билан таъминловчи қурилмаларга татбиқ этиш ва ишлаб чиқиш. – Ахборот коммуникациялар: Тармоқ Технологиялар Ечимлар 2014 №1(29).

МУНДАРИЖА

КИРИШ	3
I БОБ. АЛГЕБРАИК ВА СИМВОЛЛИ ҲИСОБЛАШЛАР	7
1.1. Символли ҳисоблашлар	7
1.1.1. Symbolic Math ToolBox пакети	7
1.1.2. Символли ўзгарувчилар, константалар ва ифодалар	9
1.1.3. Символли функциялар	14
1.1.4. Математик таҳлиlining символли амаллари	16
1.1.5. Алгебраик тенгламаларни ечиш – solve	24
1.1.6. Дифференциаллаш	25
1.1.7. Интеграллаш	28
1.1.8. Йиғинди ва кўпайтмалар	29
1.1.9. Сукут бўйича ўзгарувчилар	29
1.1.10. Дифференциал тенгламаларни ечиш функцияси – dsolve	30
1.1.11. Дифференциал тенгламаларни dsolve функцияси ёрдамида ечиш	34
1.1.12. Лаплас ўзгартиришлари – laplace	35
1.1.13. Тескари Лаплас ўзгартиришлари – ilaplace	39
1.1.14. Symbolic Math пакетининг график имкониятлари	39
1.2. Фойдаланувчи томонидан бериладиган функциялар (аноним функциялар)	43
1.3. Maple дастурининг ядроси	47
1.4. Маълумотларни жадвал кўринишида чиқариш	52
II БОБ. MATLAB ДАСТУРИДА ГРАФИКА	54
2.1. Параметрик чизмалар	55
2.2. Контурли ва яққол бўлмаган чизмалар	56
2.3. Майдонларнинг чизмалари	58
2.4. Уч ўлчамли чизмалар	59
2.5. Уч ўлчамли фазодаги сиртлар (юзалар)	62
III БОБ. М КИТОБЛАР	62
3.1. М китобни ишга тушириш	62
3.2. Notebook (Блокнот) менюсининг элементлари	64
3.3. М-китобда графика	66
IV БОБ. ТИПИК МАСАЛАЛАРНИ ЕЧИШ УЧУН ИЛОВАЛАРНИ ЯРАТИШ	66
4.1. Масаланинг кўйилиши	67
4.2. GUIDE муҳитининг бошқариш элементлари	68
4.3. Бошқариш элементлари панели	69
4.4. Иловани яратиш жараёнида тизим ҳосил қиладиган файллар	71
4.5. Илова устида ишлаш	71

4.5.1. Биринчи боскич.....	71
4.5.2. Иккинчи боскич.....	74
4.5.3. Учинчи боскич.....	77
V БОБ. MATLAB 6.5 ТИЗИМИНИНГ OPTIMIZATION TOOLBOX ПАКЕТИ	79
5.1. Пакетнинг вазифаси.....	79
5.2. Optimization Toolbox пакетининг функциялари	79
5.2.1. Минималлаш функциялари	79
5.2.2. fminbnd функцияси	81
5.2.3. fmincon функцияси	82
5.2.4. fminimax функцияси	84
5.2.5. fminsearch функцияси	85
5.2.6. fminunc функцияси	86
5.2.7. fseminf функцияси	87
VI БОБ. МАЪЛУМОТЛАРНИНГ АППРОКСИМАЦИЯСИ ВА ИНТЕРПОЛЯЦИЯСИ.....	90
6.1. Полиномиал аппроксимация.....	90
6.2. Сплайн интерполяция.....	92
6.3. Маълумотларни интерполяциялаш учун interp1 процедурасидан фойдаланиш	93
6.4. Лагранжнинг интерполяция полиноми	94
VII БОБ. ПОЛИНОМЛАРНИНГ ИЛДИЗЛАРИНИ, ФУНКЦИЯЛАРНИНГ НОЛЛАРИНИ АНИҚЛАШ. ТЕНГЛАМАЛАР ҲАМДА ТЕНГСИЗЛИКЛАР- НИ ЕЧИШ.....	97
7.1. Полиномларнинг илдизларини аниқлаш	97
7.2. Функциянинг нолларини аниқлаш	97
7.3. Тенгламаларни ечиш	99
7.4. Тенгсизликлар ва тенгсизликлар системаларини ечиш	102
VIII БОБ. СОНЛИ ДИФФЕРЕНЦИАЛЛАШ ВА ИНТЕГРАЛЛАШ	103
IX БОБ. ДИФФЕРЕНЦИАЛ ТЕНГЛАМАЛАРНИ СОНЛИ ВА АНАЛИТИК УСУЛЛАР БИЛАН ЕЧИШ.....	105
9.1. Дифференциал тенгламаларни Эйлер ва Адамс усуллари билан ечиш	105
9.2. Юқори тартибли дифференциал тенгламаларни ечиш.....	107
9.2.1. Тартибни пасайтириш мумкин бўлган тенгламалар.....	107
9.4. Тенгламаларни ечишда inline-функциядан фойдаланиш	135
X БОБ. КУЁШ ЭЛЕМЕНТИ	139
10.1. Куёш батареясига эга бўлган электр таъминоти тизимида турт тактли кўтарувчи кенглик импульс ўзгарткичи.....	139
10.2. Куёш элементининг математик модели	141
10.3. Ясси куёш коллекторининг оптимал қиялигини аниқлаш.....	143
XI БОБ. MATLAB+SIMULINK ТИЗИМИНИНГ SIMSCAPE МОДЕЛЛАШ ПАКЕТИ	147
11.1. Simescape пакети	147

11.2. Электрон схемаларни моделлаш пакети SimElectronics.....	152
11.3. Биполяр транзисторнинг характеристикаларини олиш.....	154
11.4. Майдонли транзисторнинг частотавий характеристикаларини олиш	156
11.5 Физик моделлаш.....	157
XII БОБ. SIMULINK МОДЕЛЛАРИНИ ҚУЛАЙЛАШТИРИШ БЎЙИЧА ТАВСИЯЛАР.....	160
12.1. Блоклар параметрларини киритиш учун ўзгартувчилардан фойдаланиш.....	160
12.2. Scope блокнинг ойнасида графикларни форматлаш	162
12.3. Модель ойнасида расмларни акс эттириш.....	164
XIII БОБ. НОРАВШАН ТЎПЛАМЛАР ВА НОРАВШАН МАНТИК.....	166
13.1. Асосий атамалар ва таърифлар.....	167
13.2. Норавшан тўпламларнинг хоссалари	171
13.3. Норавшан тўпламлар устида амаллар	174
13.4. Норавшан арифметика.....	177
13.5. Норавшан муносабатлар ва уларнинг хоссалари.....	183
13.6. Норавшан муносабатлар бўйича амаллар.....	186
XIV БОБ. FUZZY LOGIC TOOLBOX ПАКЕТИНИНГ ТУЗИЛИШИ	189
14.1. Fuzzy модули ёрдамида диалог режимида норавшан тизимлар тузиш	190
14.2. Мамдани турдаги тизимларни лойиҳалаш	190
14.3. Сутэно турдаги тизимларни лойиҳалаш	198
14.4. Норавшан мантикий ҳулоса тизимларида маълумотларнинг тузилиши.....	204
14.5. fis-файлнинг тузилиши ва мансублик функцияларининг моделлари.....	207
14.6. Норавшан мантикий ҳулосани визуаллаштириш.....	211
14.7. “Кириш-чиқиш” юзасини визуаллаштириш.....	214
14.8. Координаталар ўқларининг менюлари.....	215
14.9. ANFIS- тахрирлагич.....	217
14.10. Findcluster модули	223
14.11. FIS-тахрирлагич	225
14.12. Мансублик функциясининг редактори	230
14.13. Билимлар базасининг редактори	234
XV БОБ. MATLAB ВА EXCEL ОРАСИДА МАЪЛУМОТЛАР АЛМАШИНУВИ	237
XVI БОБ ЭКГ СИГНАЛЛАРНИ КАЙТА ИШЛАШ	243
АДАБИЁТЛАР РЎЙХАТИ.....	250

Илмий-услубий нашр

МУХСИН МЎМИНОВИЧ МУХИТДИНОВ
ТУЛАН ДАДАЖОНОВ
ХАЙРУЛЛО ҲАБИБУЛЛАЕВИЧ КУЛМАТОВ

MATLAB
ИЛМИЙ-ТАДҚИҚОТ ИШЛАРИДА

Мухаррир *А. Акбаров*
Бадний муҳаррир *Д. Мулла-Ахунов*
Техник муҳаррир *Б. Каримов*
Кичик муҳаррирлар: *Д. Хозматова, Г. Ералиева*
Мусаххих *Ш. Шоабдурахимова*
Компьютерда саҳифаловчи *Ф. Ботирова*

Нашриёт лицензияси А1 № 158.14.08.2009.
Босишга 2016 йил 2-февралда рухсат этилди.
Бичими 60x90^{1/16}. Офсет коғози. «Times New Roman» гарнитурасида
офсет усулида босилди. Шартли босма табағи 16. Нашр табағи 15,89.
Адади 500 нусха. Буюртма № 1416-15.

Ўзбекистон Матбуот ва ахборот агентлигининг
«O'zbekiston» нашриёт-матбаа ижодий уйи.
100129, Тошкент, Навоий кўчаси, 30.

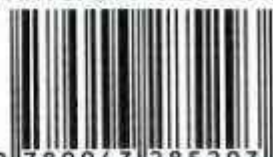
Телефон: (371) 244-87-55, 244-87-20
Факс: (371) 244-37-81, 244-38-10
e-mail: iptd-uzbekistan@iptd-uzbekistan.uz
www.iptd-uzbekistan.uz

«O'ZBEKISTON»



6938

ISBN 978-9943-28-529-3



9 789943 285293