

ҚР Ұ 218-149-2018 ЖОЛ ТӨСЕМЕСІНІҢ КӨП ҚАБАТТЫ ҚҰРЫЛЫМЫНЫҢ КЕРНЕУЛІ-ДЕФОРМАЦИЯЛАНҒАН КҮЙІН АНЫҚТАУ БАҒДАРЛАМАСЫН ТӘЖІРИБЕЛІК ҚОЛДАНУ БОЙЫНША ӘДІСТЕМЕЛІК ҰСЫНЫМДАР

Қазақстан Республикасы Инвестициялар және даму министрлігі Автомобиль жолдары комитеті Төрағасының 2018 жылғы 21 желтоқсандағы № 122 бұйрығымен бекітілген.

МАЗМҰНЫ

АЛҒЫСӨЗ

- 1 "Қазақстан жол ғылыми-зерттеу институты" акционерлік қоғамы ("ҚазжолҒЗИ" АҚ) ДАЙЫНДАП ЕНГІЗДІ
- Қазақстан Республикасы Инвестициялар және даму министрлігі Автомобиль жолдары комитеті
2 Т ө р а ғ а с ы н ы ң 2 0 1 8 ж ы л ғ ы
21 желтоқсандағы № 122 бұйрығымен БЕКІТІЛІП, ҚОЛДАНЫСҚА ЕНГІЗІЛДІ
- 3 "ҚазАвтоЖол" ҰК" Акционерлік қоғамымен 14.11. 2018 жылғы № 03/14-2-2623-И хатымен КЕЛІСІЛДІ
- 4 БІРІНШІ ТЕКСЕРУ МЕРЗІМІ 2023 жыл
- 5 ТЕКСЕРУ КЕЗЕҢДІЛІГІ 5 жыл
- 6 АЛҒАШ РЕТ ЕНГІЗІЛДІ

Кіріспе

Бұл әдістемелік ұсынымдар Б01.02 "Жол төсемесінің көп қабатты құрылымының кернеулі-деформацияланған күйін анықтауға арналған теориялық шешімдер мен бағдарламаларды әзірлеу" тақырыбының шеңберінде қабылданған жұмыстар жоспарына сәйкес әзірленді.

Құжат автомобиль салмағымен статикалық жүктелген көп қабатты жол құрылымының кернеулі-деформацияланған күйін анықтаудың үлгілік міндет қойылымдарынан тұрады және негізгі формулалар шекті элементтер әдісімен есептеу алгоритмінен алынған. Әдісте сегіз түйінді дәлдігі жоғары квадратты тікбұрышты шекті элемент қолданылады. А қосымшасында қажетті түсіндірмелері бар MATLAB [1-4] тіліндегі BASIC_NDS_MKE_8_uzlov есептеу бағдарламасының мәтіні (листинг) берілген. Б қосымшасында элементтің қаттылық матрицасын есептеуге арналған BDB0 бағдарламасының листингі келтірілген. BASIC_NDS_MKE_8_uzlov бағдарламасын қолданудың қысқаша нұқсаулығы да берілген. Құжаттың соңында қолданылған әдебиеттер тізімі көрсетілген.

1 Қолдану саласы

1.1 Қазақстан Республикасының жалпы пайдаланымдағы автомобиль жолдарының желісіне таралады және көп қабатты жалпы пайдаланымдағы автомобиль жолдарын жобалау мәселелерін шешуге арналған.

1.2 Жалпы пайдаланымдағы автомобиль жолдарына арналған жол төсемелерінің құрылымдарын жобалауда, жобалау және пайдалану сатысында жол төсемелерін есептеуде (ҚР ЕЖ 3.03-103-2014 және ҚР ЕЖ 3.03-104-2014 сәйкес), сондай-ақ автомобиль жолдарына қатысты инженерлік-экономикалық міндеттерді шешуде осы ұсынымдарды басшылыққа алу қажет.

2 Нормативтік сілтемелер

Осы ұсынымдарды қолдану үшін келесі сілтемелік нормативтік құжаттар қажет:

ҚР ЕЖ 3.03-103-2014 "Қатты жол төсемдерін жобалау"

ҚР ЕЖ 3.03-104-2014 "Қатты емес типті жол төсемдерін жобалау"

Ескерту – Осы ұсынымдарды қолдану кезінде ағымдағы жылдың күйі бойынша жасалған "Стандарттау бойынша нормативтік құжаттар" көрсеткіші бойынша, және де ағымдағы жылда жарияланған тиісті ақпараттық көрсеткіштер бойынша сілтемелік стандарттардың әрекет етуін тексеру қажет. Егер сілтемелік құжат ауыстырылған (өзгертілген) болса, онда осы ұсынымдарды пайдалану кезінде ауыстырылған (өзгертілген) стандартты нұсқау етіп қолдану қажет. Егер сілтемелік құжат ауыстырылмай күші жойылған болса, онда оған сілтеме берілген ереже осы сілтемені қозғамай қатысты қолданылады.

3 Терминдер мен анықтамалар

Осы Ұсынымдарда тиісті анықтамалары бар келесі терминдер қолданылады:

3.1 Жол төсемесі: Автокөлік жүруге және оның салмағының әсерін жер төсемесіне беру үшін жасалған жүру бөлігінің көп қабатты құрылымы.

3.2 Жер төсемесі: Жол төсемесін, сондай-ақ жол қозғалысын ұйымдастырудың техникалық құралдарын орналастыруға және автомобиль жолдарын жайластыру үшін негіз болып қызмет атқаратын құрылымдық элемент.

3.3 Деформация: Дененің сызықтық өлшемдерінің бастапқы өлшемдеріне қарағанда өзгеруімен сипатталатын салыстырмалы шама.

3.4 Кернеу: алаң бірлігіне келетін қалыпты немесе жанама жүктемемен анықталынатын салыстырмалы шама.

3.5 Қатқыл жол төсемесі: Асфальтбетондардың әртүрлі түрлерінен, битуммен, цементпен, әктаспен, кешенді және басқа да тұтқырғыштармен, сондай-ақ әлсіз байланысты түйірлі материалдармен нығайтылған материалдардан салынған қабатты жол төсемесі.

3.6 Құрылымдық қабат: Біркелкі материалдардан тұратын және іргелес қабаттардан материал түрімен, беріктігімен және құрамымен ерекшелінетін жол төсемесінің әрбір қабаты.

3.7 Жол жамылғысы: Жол негізіне салынатын, көлік құралдарынан жүктемені тура қабылдайтын және белгіленген пайдалану талаптарын қамтамасыз етуге арналған және жол негізін атмосфералық факторлардың ықпалынан қорғайтын жол төсемесінің бір немесе көп қабатты жоғарғы бөлігі.

3.8 Жол негізі: Жамылғымен бірге көлік құралдарының жүктемесін қабылдайтын және оны қосымша қабаттарға немесе тікелей жер төсемесінің топырағына үлестіруге арналған жол төсемесінің салмақ түсетін төменгі қабаты.

3.9 Шекті элементтер әдісі: математикалық физиканың дифференциалдық теңдеулерін шешудің сандық әдісі.

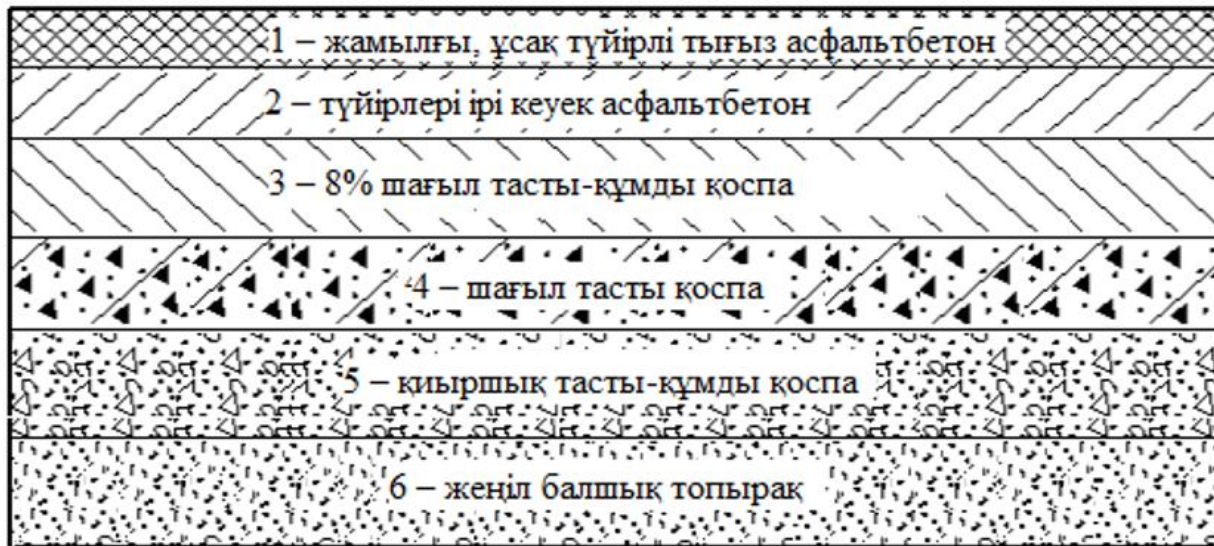
4 BASIC_NDS_MKE_8_UZLOV бағдарламасын пайдалану әдістемесі

4.1 Міндеттің жалпы қойылымы

Жалпы пайдаланымдағы автомобиль жолының математикалық үлгісін құру үшін екі қабатты асфальтбетон жол төсемесінің құрылымы мен 8% цемент қоспасы, шағыл тасты қоспа және қиыршық тасты-құмды қоспасы бар шағыл тасты-құмды қоспадан тұратын жол төсемесінің негізін қарастырамыз. Жол төсемесінің негізі жеңіл топырақты негізге орналастырылады (1-сурет).

Көпқабатты құрылымның тепетендігі туралы есепті шешуге арналған сандық әдістің - шекті элементтер әдісінің мүмкіндіктері құрылымдық қабаттардың геометриялық өлшемдері мен құрылымда қолданылатын материалдардың физика-механикалық қасиеттерін айтарлықтай жеңіл тағайындауға жағдай жасайды.

Сондықтан 1-кестеде келтірілген математикалық үлгіде қарастырылған құрылымдық қабаттардың геометриялық өлшемдері (1-сурет) мен құрылымдық элементтердің материалдарының физика-механикалық қасиеттері (оның ішінде серпімділік модульдері) [6] сәйкес тағайындалған.



1 – жамылғы, ұсақ түйірлі тығыз асфальтбетон; 2 – түйірлері ірі кеуек асфальтбетон ; 3 – 8% шағыл тасты-құмды қоспа; 4 – шағыл тасты қоспа; 5 – қиыршық тасты-құмды қоспа; 6 – жеңіл балшық топырақ

1-сурет - Жол құрылымының сұлбалық көрінісі

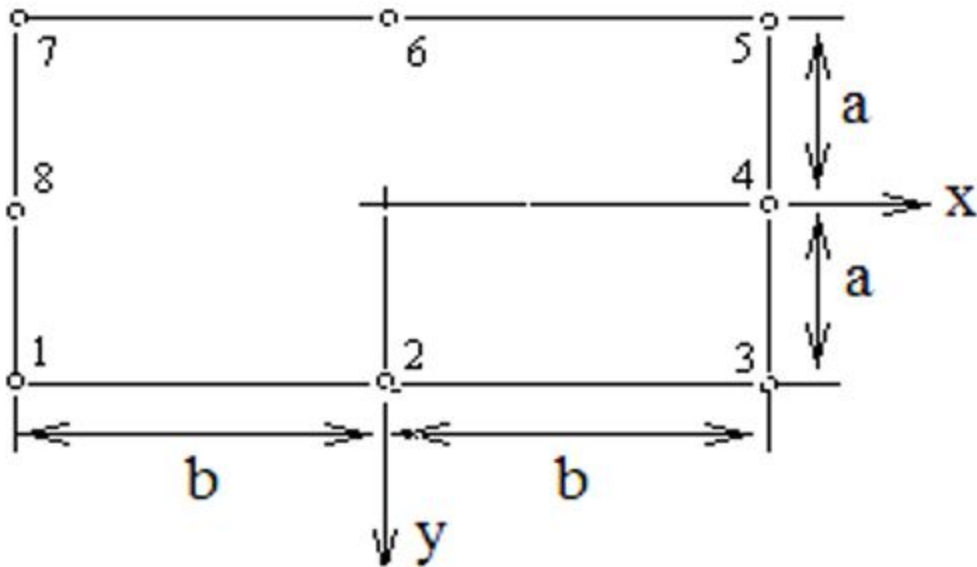
Құрылымдық элемент материалдарының физика-механикалық қасиеттерінің мәндері А қосымшасының 108-110 жолдарында келтірілген.

1-кесте – Құрылымдық қабаттардың сипаттамасы

Құрылымдық қабат материалы	Серпімділік модулі E, МПа	Пуассон коэффициенті,	Қабаттың биіктігі, м
1 Ұсақ түйірлі тығыз асфальтбетон	3200	0,18	0,05
2 Ірі түйірлері кеуек асфальтбетон	2000	0,27	0,10
3 8% шағыл тасты-құмды қоспа	800	0,30	0,40
4 Шағыл тасты қоспа	275	0,30	0,45
5 Қиыршық тасты-құмды қоспа	180	0,30	1,00
6 Жеңіл балшық топырақ	50	0,35	-

Шекті элементтер әдісімен жол құрылымының кернеулі-деформациялық күйі туралы есепті шешу алгоритмін компьютерлік жүзеге асыру үшін MATLAB жүйесінің алгоритм тіліндегі **BASIC_NDS_MKE_8_uzlov** есептеу бағдарламасы әзірленді.

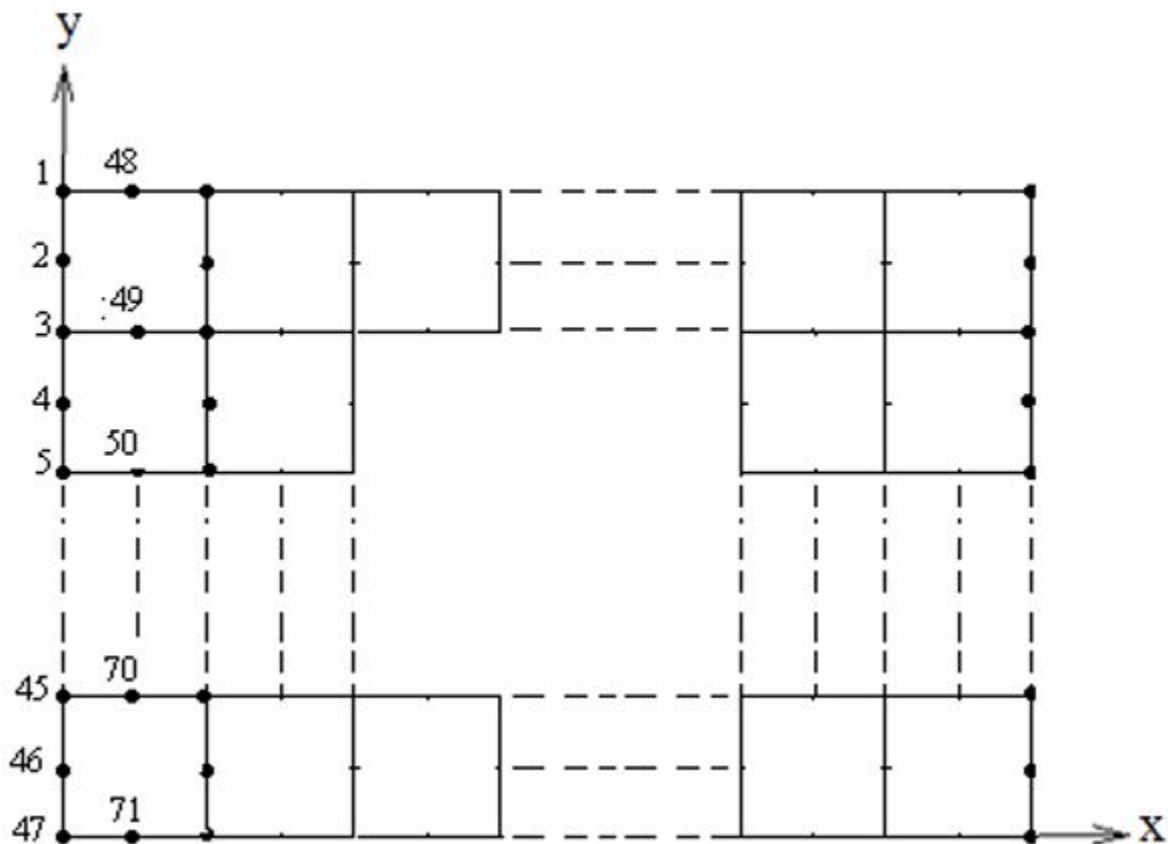
Зерттелетін сала сегіз түйінді квадраттық тікбұрышты шекті элементтерге бөлінеді (2-сурет). Мұндай соңғы элементтегі түйіндердің жергілікті нөмірі 1-ден бастап 8-ге дейін сол жақтан төменгі түйіннен басталады және сағат тіліне қарама-қарсы бағытта жүзеге асырылады.



2-сурет – Сегіз түйінді тікбұрышты элемент

Шекті-элемент торын құру үшін және координаттық өстері бағытындағы және айнымалы адымдар қолданылды (3-сурет).

Әрбір көлденең қатарда (3-сурет) 60 элементтен орналасқан ($e_{гор}=60$), ал элементтердің көлденең қатарларының саны 23 ($e_{вер}=23$). Осыдан, зерттелетін аймақ 1380 шекті элементтерге бөлінген, ал түйіндер саны $n_p=(3*e_{вер}+2)*e_{гор}+2*e_{вер}+1=4307$ тең (А қосымшасының 12-15 жолдары).

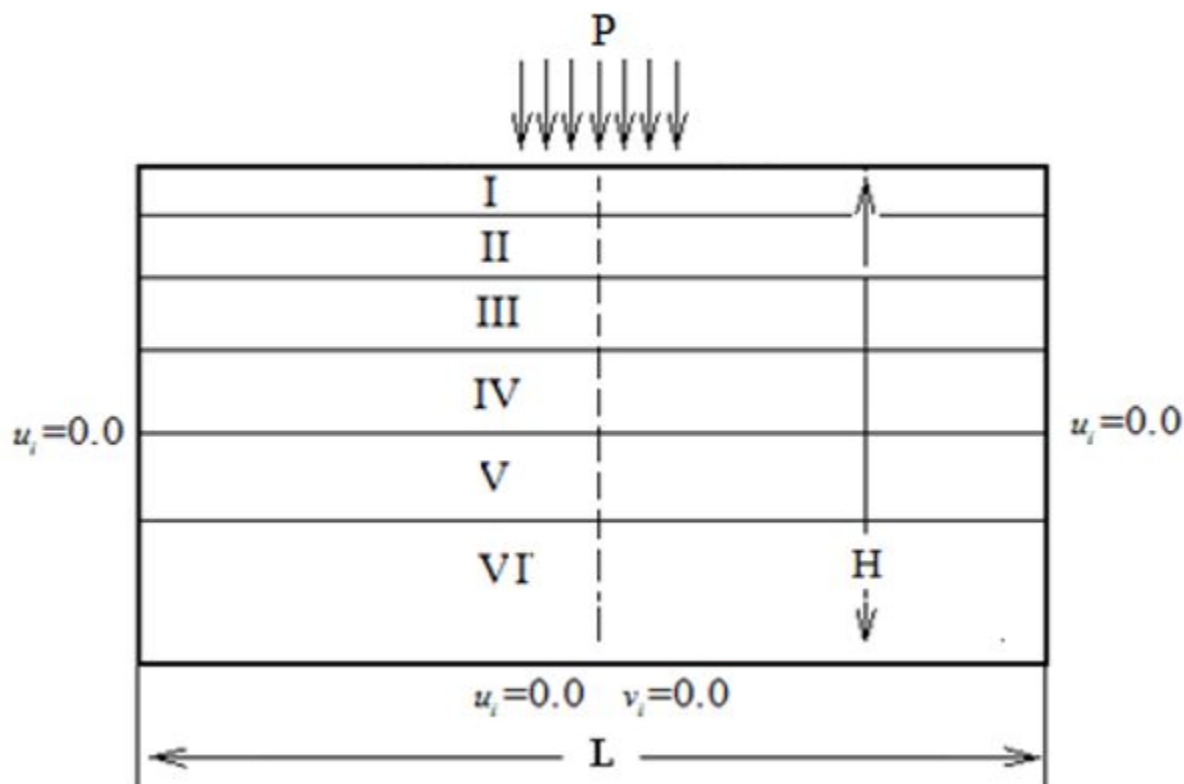


3-сурет – Зерттелетін аймақты шекті-элементтік бөлудің сұлбалық көрінісі

Түйіндердің жалпыланған нөмірлері түйіндердің шеткі сол жақтағы тік қатарынан басталады және жоғарыдан төменге қарап жүзеге асырылады және солдан оңға қарай жылжыйды (3-сурет).

Сонымен қатар, бөліну тұрақсыз болады, себебі сегіз түйінді элементтерде орталық түйін болмайды. Бұл жағдайда тік қатарда 47 түйін, ал келесісінде – 24 түйін болады.

Автомобильдің бір дөңгелегі арқылы түйіндерде тік жүктеме түрінде берілетін автомобиль салмағының ықпалындағы шекті-элементтік тордағы түйіндік нүктелердің жылжу векторының компоненттерін анықтау қажет (4-сурет).



L және H – зерттелетін аймақтың ені мен биіктігі; P – көлік құралының дөңгелегінен түсетін жүктеме; u_i , v_i - x және y координаттық өстер бойымен бағытталған шекаралардағы нүктелердің жылжу компоненттері; I – VI – жол төсемесі мен топырақты негіздің құрылымдық қабаттары.

4-сурет – Есептің есептік сұлбасы

4.2 Координаттар ауқымдарын қалыптастыру

BASIC_NDS_MKE_8_uzlov бағдарламасында dx және dy ауқымдары берілген, олар координаттар бойынша адым мәндерінен тұрады. Мұндай ауқымдардың болуы

координаттар бойынша айнымалы адымдарды беруге мүмкіндік береді (А қосымшасының 44-63 жолдары).

Бағдарламаның координаттарды қалыптастыру бөлігінде (А қосымшасының 68-91 жолдары) ағымдағы шекті элемент түйіндерінің жалпыланған нөмірі 1,2,..., 8 жергілікті нөмірлерге сәйкес келетін n_1, n_2, \dots, n_8 арқылы белгіленген, 2-суретте келтірілген. **BASIC_NDS_MKE_8_uzlov бағдарламасында** n_1, n_2, \dots, n_8 есептеу алгоритмдері бойынша есептелінетін түйіндердің жалпыланған нөмірлерінің нақты мәндері түйіндердің ағымдағы көлденең қатарларындағы элемент нөмірімен ($m=1:egor$) және түйіндердің ағымдағы тік қатарындағы нөмірімен ($n=1:ever$) анықталады.

4.3 Шекаралық шарттар

4-суретте зерттелетін аймақтың бүйірлерінде және төменгі шекараларында жылжу векторының тиісті компоненттерінің нөлдік мәндері түрінде беріледі ($u=0$ и $u=v=0$). Кейбір түйіндердің шекаралық шарттарын белгілі жылжулар түрінде беру үшін жылжулары белгілі түйіндерінің нөмірлерінен тұратын арнайы Mz ауқымын құру қажет (А қосымшасының 23-43 жолдары).

Жүктемелер түріндегі шекаралық шарттар бір дөңгелекке келетін автомобиль салмағымен анықталатын қадалған тік күштер түрінде беріледі. Жүктемелердегі шекаралық шарттарды есептеу әдістемесі А қосымшасында келтірілген (112-166 жолдар). Есептеудің қорытынды нәтижесі жүйенің (1) тепе-теңдік теңдеулерінің оң жақ бөлігінің векторы арқылы анықталады.

4.4 Тепе-теңдік теңдеуін анықтайтын ара қатынастар

Сызықтық үшбұрышты шекті элементтерді қолданған секілді квадратты элементтерді қолданғанда да жүйенің тепе-теңдік теңдеуі матрицалық пішінде келесіндей көрініске ие [7]:

(1)

мұнда $[K]$ –жүйенің қаттылығының ($2 \cdot n_r, 2 \cdot n_r$) өлшемді матрицасы; – түйіндік жылжулардың $2 \cdot n_r$ өлшемді векторы;

–түйіндік жүктемелердің $2 \cdot n_r$ өлшемді векторы;

n_r – шекті-элементтік тордағы түйіндердің жалпы саны.

Жүктемелердегі шекаралық шарттарға сәйкес келетін векторының компоненттерінің мәндерін есептеу тәртібі А қосымшасының 150-165 жолдарында келтірілген. Бұл вектордың қалған компоненттері түйіндердің тепе-теңдігі жағдайларына қарай нөлге тең.

(1) теңдеуіндегі жүйенің қаттылық матрицасы мынадай жиынтық түрінде анықталады

мұнда – шекті-элементтік тордағы элементтердің жалпы саны; –ағымдағы "" элементінің қаттылық матрицасы.

Элементтің қаттылық матрицасы келесі көлемдік интегралдың көмегімен есептелінеді

(2)

мұнда серпімділік матрицасын есептеу алгоритмі А қосымшасының 204-207 жолдарында келітірілген.

(2) өрнекте градиенттер матрицасы мүсін функциясынан координаттары бойынша дифференциялау арқылы анықталады.

Мүсін функциясының сегіз түйінді квадратты элементтерде орын алатын координаттарынан бейсызықты тәуелділік жағдайында мүсін функциясыны координаттар бойынша алынған туындылары да координаттарына тәуелді болады және интегралын есептеу орасан зор математикалық амалдарды қажет ететін өзіндік есепке айналады.

4.5 Сегіз түйіні бар төртбұрышты элементтің градиенттер матрицасын есептеу

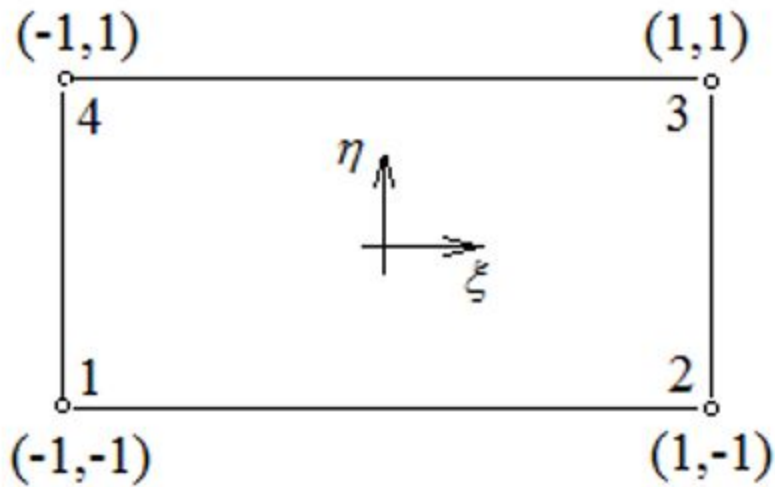
(2) ара қатынасында көлемді интегралды сандық әдіспен есептеу үшін координаттардың жергілікті жүйесіне өту ұсынылады [7] (5-сурет). Мұнда интегралдаудың айнымалыларын ауыстыруды төмендегі ара қатынас арқылы жүзеге асыруға болады:

(3)

мұнда – элементтің бірлік қалыңдығы, ал – Якобидың координаттарды түрлендіру матрицасының анықтаушы. Осылайша (2) қатынасындағы көлемді интеграл төмендегідей түрге ие болады:

(4)

Интегралдаудың және айнымалыларына өту интегралдаудың шектерін анықтауды жеңілдетеді және Гаусс-Лежандр квадратурасы арқылы интегралдарын есептеудің бірінғай алгоритмін әзірлеуге мүмкіндік береді.



5-сурет - Сызықтық тікбұрышты элементке арналған координаттар жүйесі

4.6 Деформациялар мен кернеулерді анықтау алгоритмі

Өрнекті келесі түрде жазамыз (5):

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} B_{11} & B_{12} \\ B_{21} & B_{22} \\ B_{31} & B_{32} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u \\ v \end{Bmatrix} \quad (5)$$

мұнда

$$\begin{aligned} B_{11} &= \frac{2}{X2 - X1} * \left\{ \frac{\partial N_1}{\partial \xi} \quad \frac{\partial N_2}{\partial \xi} \quad \frac{\partial N_3}{\partial \xi} \quad \frac{\partial N_4}{\partial \xi} \quad \frac{\partial N_5}{\partial \xi} \quad \frac{\partial N_6}{\partial \xi} \quad \frac{\partial N_7}{\partial \xi} \quad \frac{\partial N_8}{\partial \xi} \right\}, \\ B_{12} &= \{0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0\}, \quad B_{21} = \{0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0\}, \\ B_{22} &= \frac{2}{Y4 - Y2} * \left\{ \frac{\partial N_1}{\partial \eta} \quad \frac{\partial N_2}{\partial \eta} \quad \frac{\partial N_3}{\partial \eta} \quad \frac{\partial N_4}{\partial \eta} \quad \frac{\partial N_5}{\partial \eta} \quad \frac{\partial N_6}{\partial \eta} \quad \frac{\partial N_7}{\partial \eta} \quad \frac{\partial N_8}{\partial \eta} \right\}, \\ B_{31} &= \frac{2}{Y4 - Y2} * \left\{ \frac{\partial N_1}{\partial \eta} \quad \frac{\partial N_2}{\partial \eta} \quad \frac{\partial N_3}{\partial \eta} \quad \frac{\partial N_4}{\partial \eta} \quad \frac{\partial N_5}{\partial \eta} \quad \frac{\partial N_6}{\partial \eta} \quad \frac{\partial N_7}{\partial \eta} \quad \frac{\partial N_8}{\partial \eta} \right\}, \end{aligned} \quad (6)$$

$$B_{32} = \frac{2}{X2 - X1} * \left\{ \frac{\partial N_1}{\partial \xi} \quad \frac{\partial N_2}{\partial \xi} \quad \frac{\partial N_3}{\partial \xi} \quad \frac{\partial N_4}{\partial \xi} \quad \frac{\partial N_5}{\partial \xi} \quad \frac{\partial N_6}{\partial \xi} \quad \frac{\partial N_7}{\partial \xi} \quad \frac{\partial N_8}{\partial \xi} \right\},$$

$$u = \{u_1 \ u_2 \ u_3 \ u_4 \ u_5 \ u_6 \ u_7 \ u_8\}^T, \quad v = \{v_1 \ v_2 \ v_3 \ v_4 \ v_5 \ v_6 \ v_7 \ v_8\}^T.$$

(5) өрнегінен ε_x компонентінен деформациялар тензорын келесіндей анықтаймыз:

$$\varepsilon_x = \frac{2}{X2 - X1} * \left\{ \frac{\partial N_1}{\partial \xi} \quad \frac{\partial N_2}{\partial \xi} \quad \frac{\partial N_3}{\partial \xi} \quad \frac{\partial N_4}{\partial \xi} \quad \frac{\partial N_5}{\partial \xi} \quad \frac{\partial N_6}{\partial \xi} \quad \frac{\partial N_7}{\partial \xi} \quad \frac{\partial N_8}{\partial \xi} \right\} \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \\ u_5 \\ u_6 \\ u_7 \\ u_8 \end{Bmatrix} \quad (7)$$

немесе (5) тепе-теңдігін ескере отырып

$$\varepsilon_x = \frac{(1-\eta)(2\xi+\eta)}{2(X2-X1)} u_1 - \frac{2\xi(1-\eta)}{X2-X1} u_2 + \frac{(1-\eta)(2\xi-\eta)}{2(X2-X1)} u_3 + \frac{(1-\eta^2)}{X2-X1} u_4 +$$

$$+ \frac{(1+\eta)(2\xi+\eta)}{2(X2-X1)} u_5 - \frac{2\xi(1+\eta)}{X2-X1} u_6 + \frac{(1+\eta)(2\xi-\eta)}{2(X2-X1)} u_7 - \frac{(1-\eta^2)}{X2-X1} u_8 \quad (8)$$

(8) өрнегінде және координаттары сызықтық тікбұрышқа жатады (5-сурет) және оларға сегізбұрышты тікбұрыштардағы және нүктелері сәйкес келетін болады.

Деформациялар тензорының қалған компоненттері де осыған ұқсас анықталады. (5) формуладан компоненті үшін төмендегіні аламыз:

$$\varepsilon_y = \frac{2}{Y4 - Y2} * \left\{ \frac{\partial N_1}{\partial \eta} \frac{\partial N_2}{\partial \eta} \frac{\partial N_3}{\partial \eta} \frac{\partial N_4}{\partial \eta} \frac{\partial N_5}{\partial \eta} \frac{\partial N_6}{\partial \eta} \frac{\partial N_7}{\partial \eta} \frac{\partial N_8}{\partial \eta} \right\} \begin{Bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ v_4 \\ v_5 \\ v_6 \\ v_7 \\ v_8 \end{Bmatrix}$$

немесе, (4) және $Y4 = y(n7)$, $Y2 = y(n3)$ екенін ескере отырып, келесіні аламыз:

$$\varepsilon_y = \frac{1}{y(n7) - y(n3)} \left[\frac{(1 - \xi)(2\eta + \xi)}{2} v_1 - (1 - \xi^2) v_2 - \frac{(1 + \xi)(-2\eta + \xi)}{2} v_3 - 2\eta(1 + \xi) v_4 + \right. \\ \left. + \frac{(1 + \xi)(2\eta + \xi)}{2} v_5 + (1 - \xi^2) v_6 - \frac{(1 - \xi)(-2\eta + \xi)}{2} v_7 - 2\eta(1 - \xi) v_8 \right] \quad (9)$$

γ_{xy} ығысу деформациясы да осыған ұқсас тәсілмен анықталады:

Кернеулер компоненттерін анықтау үшін кернеуерді есептеу өрнегін [7] қолданамыз:

$$\sigma_x = E\varepsilon_x, \quad \sigma_y = E\varepsilon_y \quad \text{и} \quad \tau_{xy} = G\gamma_{xy}, \quad (10)$$

мұнда, жазық деформация үшін $G = E / (2 * (1 + \nu))$;

E - серпімділік модулі;

ν - Пуассон коэффициенті.

немесе, (4) және екенін ескере отырып, келесіні аламыз:

Деформациялар векторының компоненттерін және кернеулер векторын есептеудің келтірілген алгоритмін сандық орындау бағдарламасы осы құжаттың А қосымшасының 412-527 жолдарында келтірілген. Одан басқа, А қосымшасында тік қималарға тән нүктелердің көлденең жылжуларының (А қосымшасының 297-312 жолдары), түрлі тереңдіктерде орналасқан көлденең қималар нүктелерінің тік жылжуларының (А қосымшасының 316-408 жолдары) және деформациялар мен кернеулер векторлары компоненттері мәндерінің (А қосымшасының 529-602 жолдары) кестелерін түзу бағдарламалары берілген.

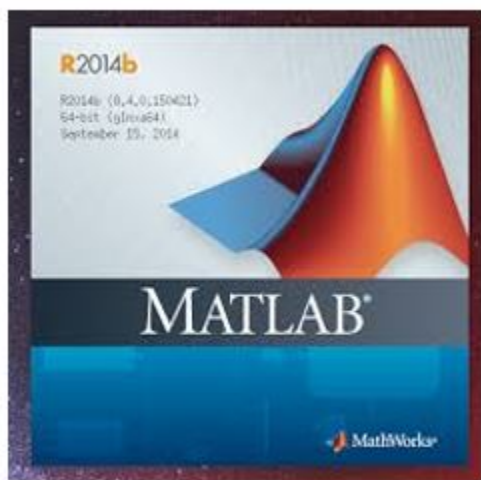
4.7 BASIC_NDS_MKE_8_UZLOV бағдарламасын пайдаланудың қысқаша әдістемесі

Келтірілген нормативтік құжаттың **мақсаты** MATLAB тілінде есептеу бағдарламасын жасау болып табылады.

Есптеу бағдарламасы зерттеудегі жол құрылымының нүктелеріндегі (4-сурет) жылжулар, деформациялар мен кернеулердің компоненттерінің мәндерін анықтауға арналған.

Әлемдік тәжірибеде математикалық физика есептерін, соның ішінде деформацияланатын қатты денелердің керенеулі деформацияланған күйіне арналған есептерді шығаруға қабілетті басқа да бағдарламалар жиынтықтары бар. Олардың ішінде ең белгілісі ANSYS бағдарламалар кешені. Бірақ олардың бәрі коммерциялық бағдарламалар болғандықтан олардың алгоритмдері жасырын болады да, қарапайым қолданушыларға оларды өз есептеріне пайдалану, оларды қажетінше өзгерту мүмкін емес. Ұсынылып отырған **BASIC_NDS_MKE_8_uzlov** бағдарламасы ашық, оның алгоритмі толық ашылып жазылған, бағдарлама жылдам бейімделеді және оны әрқашанда жақсартып отыруға мүмкіндік бар. Мысалы, оған жеке блоктар қосуға болады және жол жамылғысындағы төменгі температуралық жарықшақтардың пайда болу шарттары туралы, жол төсемінің құрылым қабаттарындағы шаршау жарықшақтарының пайда баолу шарттары туралы есептерді шығаруға болады.

Нақты бір есепті шығаратын кезде **BASIC_NDS_MKE_8_uzlov** бағдарламасын іске қосу үшін директориясында **BASIC_NDS_MKE_8_uzlov** бағдарламасының мәтіні (листинг) орналасқан MATLAB бағдарламалар кешенінің бір үлгісі орналасуы шарт. Компьютердің жұмыс столында MATLAB бағдарламалар кешенінің таңбасы орналастырылады (6-сурет).

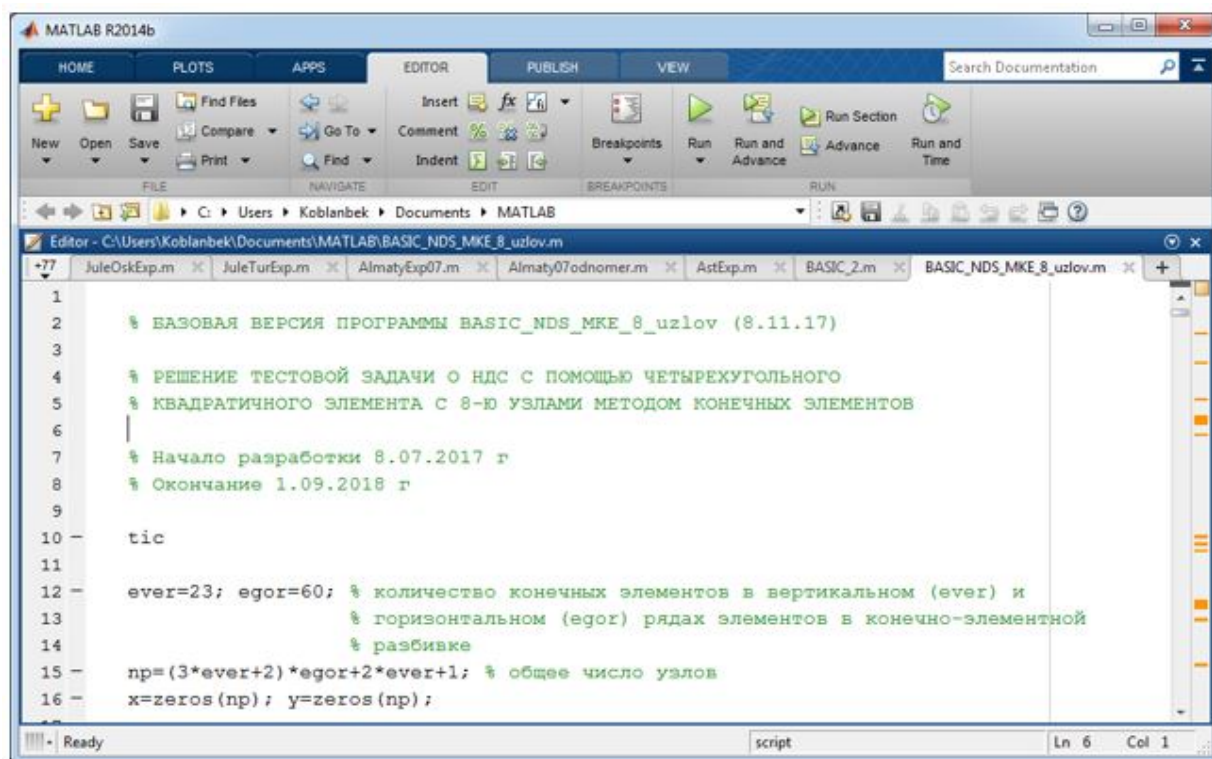


6-сурет – MATLAB бағдарламалар кешенінің таңбасы

Осы құжаттың А қосымшасында **BASIC_NDS_MKE_8_uzlov** бағламасының листингі келтірілген. Мәтінді қолдану ыңғайлы болу үшін листингтің қатарлары нөмірленген, және оны MATLAB бағдарламалар кешенінің директориясына отырғызу алдында алып тастау керек.

MATLAB бағдарламалар кешенін қолдануға шақыру жарлықты екі рет шерту арқылы жасаланады (6-сурет).

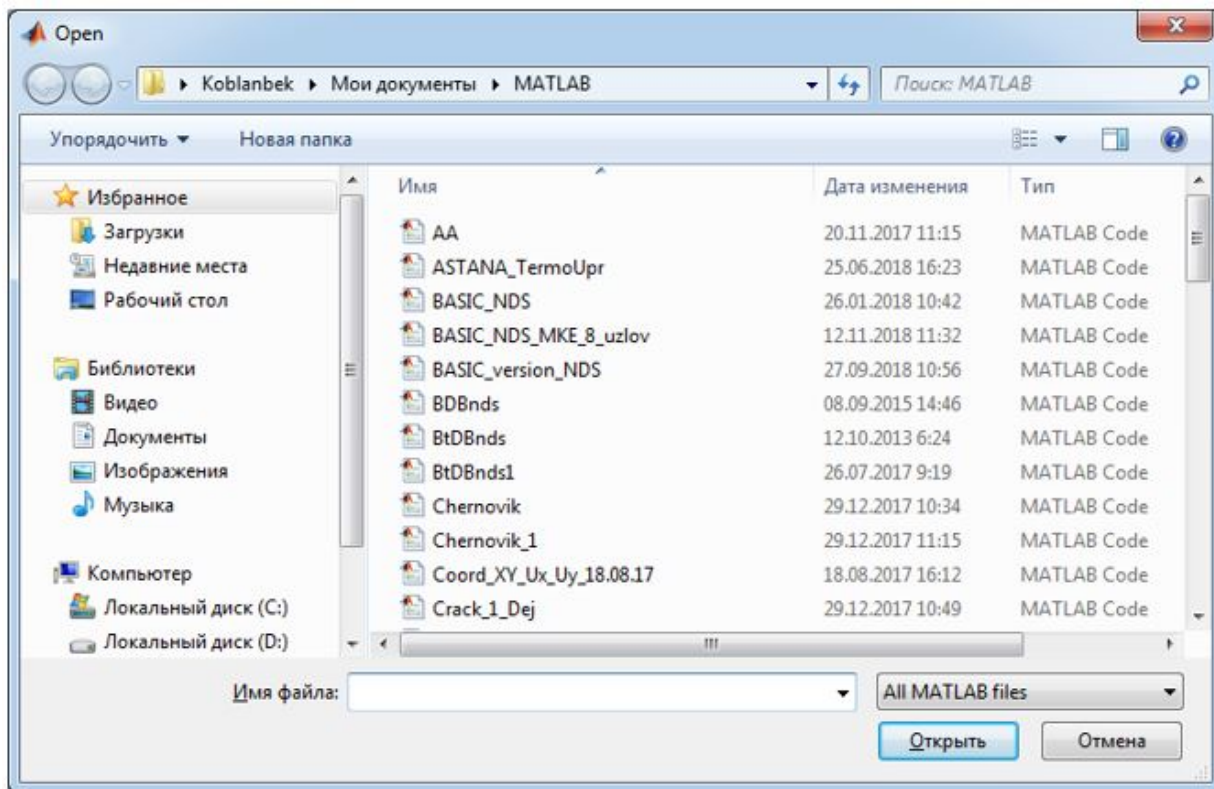
Жұмыс столында MATLAB – тың басты беті пайда болады (7-сурет).



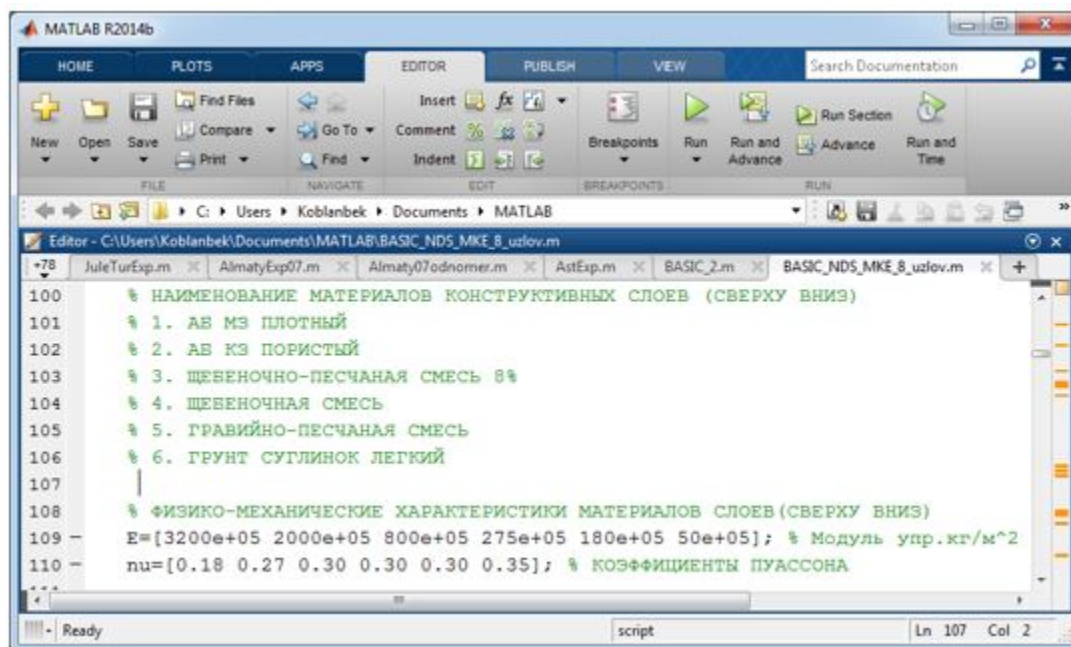
```
1
2  % БАЗОВАЯ ВЕРСИЯ ПРОГРАММЫ BASIC_NDS_MKE_8_uzlov (8.11.17)
3
4  % РЕШЕНИЕ ТЕСТОВОЙ ЗАДАЧИ О НДС С ПОМОЩЬЮ ЧЕТЫРЕХУГОЛЬНОГО
5  % КВАДРАТИЧНОГО ЭЛЕМЕНТА С 8-Ю УЗЛАМИ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
6
7  % Начало разработки 8.07.2017 г
8  % Окончание 1.09.2018 г
9
10 tic
11
12 ever=23; egor=60; % количество конечных элементов в вертикальном (ever) и
13                  % горизонтальном (egor) рядах элементов в конечно-элементной
14                  % разбивке
15 np=(3*ever+2)*egor+2*ever+1; % общее число узлов
16 x=zeros(np); y=zeros(np);
```

7-сурет – MATLAB бағдарламасының басты бетінің көрінісі

MATLAB-тың 7-суреттегі басты бетінде **BASIC_NDS_MKE_8_uzlov** бағдарламасының бір бөлігі келтірілген. Егер бұл бөлік көрінбесе, ал басты бетте басқа бағдарламаның бөлігі көрініп тұрса, онда **BASIC_NDS_MKE_8_uzlov** бағдарламасын іздеу үшін басты беттің жоғарғы жағында **OPEN** түймесін басу керек. **OPEN** түймесін басқаннан кейін MATLAB директориясындағы бағдарламалар тізімі шығады (8-сурет).



8-сурет - Директориядағы бағдарламалар тізімінің көрінісі
BASIC_NDS_MKE_8_uzlov бағдарламасын басты бетке шақыру үшін тізімдегі оның атын шертсе болды (7-сурет).



9-сурет – Қабаттардың материалдарының физика-механикалық сипаттамаларын енгізуге қажет 109-110 қатарлар

Келтірілген бағдарламада автомобиль жолының физика-механикалық сипаттамалары қойылған. Оларды қажетінше өзгерту үшін 109-110 қатарлардағы олардың мәндерін енгізу керек (9-сурет). Физика-механикалық сипаттамалар енгізілгеннен кейін жоғарғы көлбеу бетке әсер етуші тік күштің мәнін беруді 150 қатарда жүргіземіз және олардың әсер ету нүктелерінің нөмірлерін береміз (10-сурет).

```
+80  Almaty07odnomer.m  AstExp.m  BASIC_2.m  BASIC_NDS_MKE_8_uzlov.m  +
149
150 -  P=0.3e+04; % кг
151
152  % НОМЕРА УГЛОВЫХ УЗЛОВ ПРИЛОЖЕНИЯ СИЛ
153
154 -  nF(1:9)=[4239 4241 4243 4245 4247 4249 4251 4253 4255];
```

10-сурет – Бетке әсер етуші күштің шамасы мен ол әсер етуші түйіннің нөмірін беру қатары

Есепті шығарудың келесі қадамында қолданушының талабына байланысты графикалық нәтижелер алу керек. Төменде түйіндердің тік бағытта әртүрлі тереңдіктердегі жылжуларын анықтау тапсырмасын ұйымдастыру мысалдары келтірілген (11-17 - суреттер).

```
Editor - C:\Users\Koblanbek\Documents\MATLAB\BASIC_NDS_MKE_8_uzlov.m
+79  AlmatyExp07.m  Almaty07odnomer.m  AstExp.m  BASIC_2.m  BASIC_NDS_MKE_8_uzlov.m
354  % ГРАФИКИ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ УЗЛОВ
355  % ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СЕЧЕНИЙ НА ГЛУБИНАХ h
356 -  X=zeros(2*egor+1);
357 -  Y=zeros(2*egor+1);
358 -  for i=1:(2*egor+1)
359 -      j=Nv(45,i); % ГЛУБИНА h=5 CM
360 -      X(i)=x(j);
361 -      Y(i)=U(j+np);
362 -  end
363 -  hPlot=plot(X,Y,'-');grid on;xlabel('X, m');ylabel('Uy, m')
364 -  set(hPlot,'LineWidth',2);
365 -  hold on
```

11-сурет – Түйіндердің $h = 5$ см тереңдіктегі тік жылжулар кестесін алу

```
Editor - C:\Users\Koblanbek\Documents\MATLAB\BASIC_NDS_MKE_8_uzlov.m
+79 AlmatyExp07.m x Almaty07odnomer.m x AstExp.m x BASIC_2.m x BASIC_NDS_MKE_8_uzlov.m x
367 - X=zeros(2*egor+1);
368 - Y=zeros(2*egor+1);
369 - for i=1:(2*egor+1)
370 -     j=Nv(41,i); % ГЛУБИНА h=15 CM
371 -     X(i)=x(j);
372 -     Y(i)=U(j+np);
373 - end
374 - hPlot=plot(X,Y,'-');grid on;xlabel('X, m');ylabel('Uy, m')
375 - set(hPlot,'LineWidth',2);
376 - hold on
```

12-сурет – Түйіндердің $h=15$ см тереңдіктегі тік жылжулар кестесін алу

```
Editor - C:\Users\Koblanbek\Documents\MATLAB\BASIC_NDS_MKE_8_uzlov.m
+79 AlmatyExp07.m x Almaty07odnomer.m x AstExp.m x BASIC_2.m x BASIC_NDS_MKE_8_uzlov.m x
378 - X=zeros(2*egor+1);
379 - Y=zeros(2*egor+1);
380 - for i=1:(2*egor+1)
381 -     j=Nv(39,i); % ГЛУБИНА h=25 CM
382 -     X(i)=x(j);
383 -     Y(i)=U(j+np);
384 -     Ux325(i)=U(j);
385 -     Uy325(i)=Y(i);
386 - end
387 - hPlot=plot(X,Y,'--');grid on;xlabel('X, m');ylabel('Uy, m')
388 - set(hPlot,'LineWidth',2);
389 - hold on
```

13-сурет – Түйіндердің $h=25$ см тереңдіктегі тік жылжулар кестесін алу

```
Editor - C:\Users\Koblanbek\Documents\MATLAB\BASIC_NDS_MKE_8_uzlov.m
+79 AlmatyExp07.m x Almaty07odnomer.m x AstExp.m x BASIC_2.m x BASIC_NDS_MKE_8_uzlov.m x
391 - for i=1:(2*egor+1)
392 -     j=Nv(35,i); % ГЛУБИНА h=45 CM
393 -     X(i)=x(j);
394 -     Y(i)=U(j+np);
395 -     X345(i)=X(i);
396 -     Ux305(i)=U(j);
397 -     Uy305(i)=Y(i);
398 - end
399 - hPlot=plot(X,Y,'--');grid on;xlabel('X, m');ylabel('Uy, m')
400 - set(hPlot,'LineWidth',2);
401 - hold on
```


14-сурет– Түйіндердің $h = 45$ см тереңдіктегі тік жылжулар кестесін алу

```
Editor - C:\Users\Koblanbek\Documents\MATLAB\BASIC_NDS_MKE_8_uzlov.m
+78  JuleTurExp.m  x  AlmatyExp07.m  x  Almaty07odnomer.m  x  AstExp.m  x  BASIC_2.m  x  BASIC_NDS_MKE_8_uzlov.m  x
532  % ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКОВ КОМПОНЕНТ НАПРЯЖЕНИЙ SigmaX0, SigmaY0 И
533  % TauXY0 В СРЕДИННЫХ УЗЛАХ ЭЛЕМЕНТОВ
534
535  X=zeros(egor); Y23=zeros(egor); Y22=zeros(egor); Y20=zeros(egor);
536  Y18=zeros(egor); Y14=zeros(egor); Y12=zeros(egor);
537  for m=1:egor
538      n=Nv(1,2*m);
539      X(m)=x(n);
540      i23=NEv(23,m); % h=2,5 см
541      i22=NEv(22,m); % h=7,5 см
542      i20=NEv(20,m); % h=20,0 см
543      i18=NEv(18,m); % h=40,0 см
544      i14=NEv(14,m); % h=87,5 см
545      i12=NEv(12,m); % h=120,0 см
546      Y23(m)=SigmaX0(i23); % 2,5 см
547      Y22(m)=SigmaX0(i22); % 7,5 см
548      Y20(m)=SigmaX0(i20); % 20,0 см
549      Y18(m)=SigmaX0(i18); % 40,0 см
550      Y14(m)=SigmaX0(i14); % 87,5 см
551      Y12(m)=SigmaX0(i12); % 120,0 см
552  end
553  hPlot=plot(X,Y22,'-',X,Y20,'--',X,Y18,'-.',X,Y14,'-r');...
554  grid on;xlabel('X, m');ylabel('SigmaX, МПа')
555  set(hPlot,'LineWidth',2);
556  figure
```

15-сурет – Кернеулердің SigmaX компонентінің кестесін алу

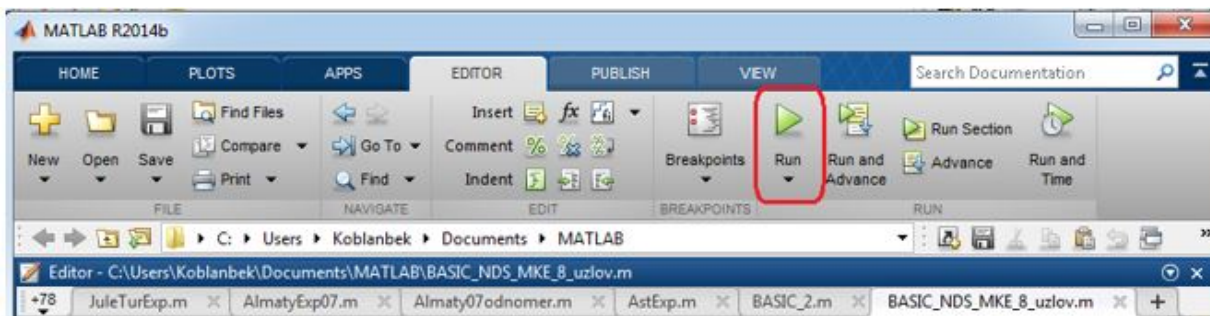
```
Editor - C:\Users\Koblanbek\Documents\MATLAB\BASIC_NDS_MKE_8_uzlov.m
+78  JuleTurExp.m  x  AlmatyExp07.m  x  Almaty07odnomer.m  x  AstExp.m  x  BASIC_2.m  x  BASIC_NDS_MKE_8_uzlov.m  x
558  X=zeros(egor); Y23=zeros(egor); Y22=zeros(egor); Y20=zeros(egor);
559  Y18=zeros(egor); Y14=zeros(egor); Y12=zeros(egor);
560  for m=1:egor
561      n=Nv(1,2*m);
562      X(m)=x(n);
563      i23=NEv(23,m); % h=2,5 см
564      i22=NEv(22,m); % h=7,5 см
565      i20=NEv(20,m); % h=20,0 см
566      i18=NEv(18,m); % h=40,0 см
567      i14=NEv(14,m); % h=87,5 см
568      i12=NEv(12,m); % h=120,0 см
569      Y23(m)=SigmaY0(i23); % 2,5 см
570      Y22(m)=SigmaY0(i22); % 7,5 см
571      Y20(m)=SigmaY0(i20); % 20,0 см
572      Y18(m)=SigmaY0(i18); % 40,0 см
573      Y14(m)=SigmaY0(i14); % 87,5 см
574      Y12(m)=SigmaY0(i12); % 120,0 см
575  end
576  hPlot=plot(X,Y22,'-',X,Y20,'--',X,Y18,'-.',X,Y14,'-r');...
577  grid on;xlabel('X, m');ylabel('SigmaY, МПа')
578  set(hPlot,'LineWidth',2);
579  figure
```

16-сурет – Кернеулердің SigmaY компонентінің кестесін алу

```
Editor - C:\Users\Koblanbek\Documents\MATLAB\BASIC_NDS_MKE_8_uzlov.m
+78  JuleTurExp.m  x  AlmatyExp07.m  x  Almaty07odnomer.m  x  AstExp.m  x  BASIC_2.m  x  BASIC_NDS_MKE_8_uzlov.m  x
581  X=zeros(egor); Y23=zeros(egor); Y22=zeros(egor); Y20=zeros(egor);
582  Y18=zeros(egor); Y14=zeros(egor); Y12=zeros(egor);
583  for m=1:egor
584      n=Nv(1,2*m);
585      X(m)=x(n);
586      i23=NEv(23,m);    % h=2,5 CM
587      i22=NEv(22,m);    % h=7,5 CM
588      i21=NEv(21,m);    % h=12,5 CM
589      i20=NEv(20,m);    % h=20,0 CM
590      i18=NEv(18,m);    % h=40,0 CM
591      i16=NEv(16,m);    % h=61,25 CM
592      i14=NEv(14,m);    % h=87,5 CM
593      i12=NEv(12,m);    % h=120,0 CM
594      Y23(m)=TauXY0(i23);    % 2,5 CM
595      Y22(m)=TauXY0(i22);    % 7,5 CM
596      Y21(m)=TauXY0(i21);    % 12,5 CM
597      Y20(m)=TauXY0(i20);    % 20,0 CM
598      Y18(m)=TauXY0(i18);    % 40,0 CM
599      Y16(m)=TauXY0(i16);    % 61,25 CM
600      Y14(m)=TauXY0(i14);    % 87,5 CM
601      Y12(m)=TauXY0(i12);    % 120,0 CM
602  end
603  hPlot=plot(X,Y22,'-',X,Y20,'--',X,Y14,'-.');...
604  grid on;xlabel('X, m');ylabel('TauXY, МПа')
605  set(hPlot,'LineWidth',2);
```

17-сурет – Кернеулердің TauXY компонентінің кестесін алу

Бағдарламаның басты беттегі барлық мәтінін қарап шығып, қажетті бастапқы мәндерді енгізіп, қажет болса бағдарламаға өзгертулер енгізгеннен кейін оны есептеуге қосуға болады. Ол үшін Run түймесін шертсе болды (18-сурет).



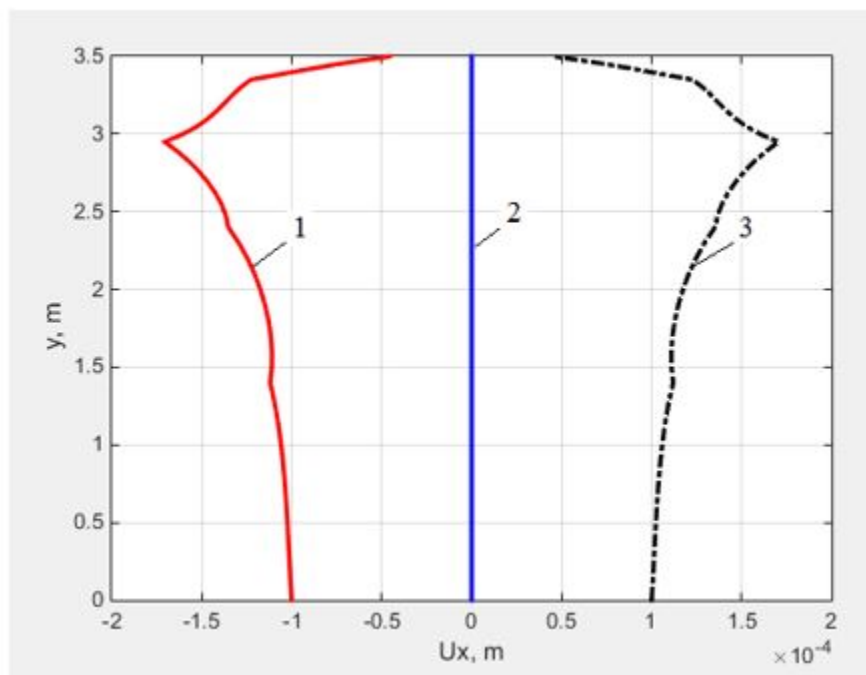
18-сурет – Құралдар бетіндегі бағдарламаны іске қосудың Run түймесі

Бағдарламада тапсырушының қалауы бойынша есепті шығару нәтижелері туралы қажетті мәліметті алу командалары бар. Мұндай мәлімет кесте түрінде, кесте түрінде, немесе мәтін түрінде т.б. болуы мүмкін. Бұл тапсырушының қалауына байланысты.

Төменде, 13-18 - суреттерде, мысал ретінде шешілген есептің нәтижелері зерттеу аймағының қажетті қималарының нүктелеріндегі тік және көлбеу жылжулар өрістерінің қалыптасу суреттері, және кернеулердің компоненттерінің де сол қималардағы өзгеру суреттері келтірілген. Мысал есепте зерттеудегі аймақтың жоғарғы беті автомобильдің жалғыз дөңгелегінің тік бағыттағы әсеріне ұшыраған.

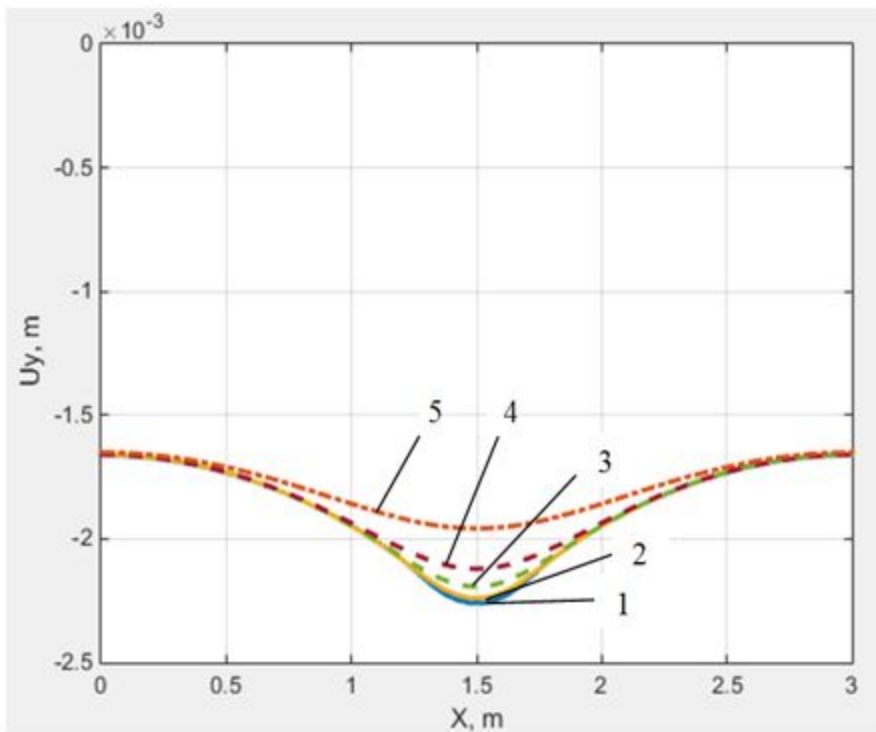
4.8 BASIC_NDS_MKE_8_uzlov бағдарламасы бойынша есептеу үлгілері

Төменде BASIC_NDS_MKE_8_uzlov бағдарласын компьютерде жүзеге асыру нәтижелері жылжулар мен кернеулер кестелері түрінде келтірілген.

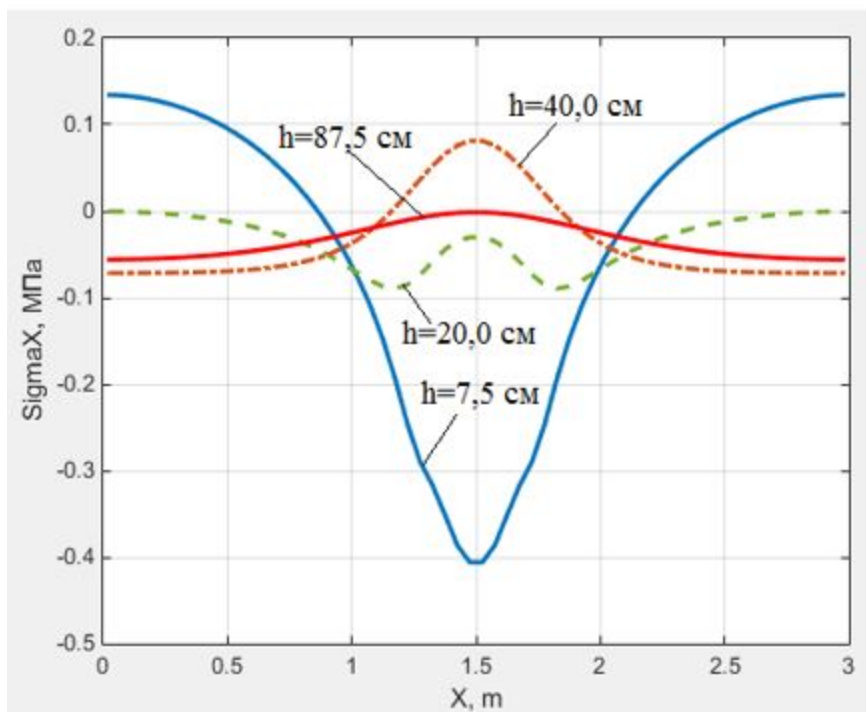


1 – тік симметрия өсінің сол жағынан 30 см қашықтықта орналасқан тік қима нүктелерінің көлденең ығысуы; 2 – тік симметрия өсі нүктелерінің көлденең ығысуы; 3 – тік симметрия өсінің оң жағынан 30 см қашықтықта орналасқан тік қима нүктелерінің көлденең ығысуы

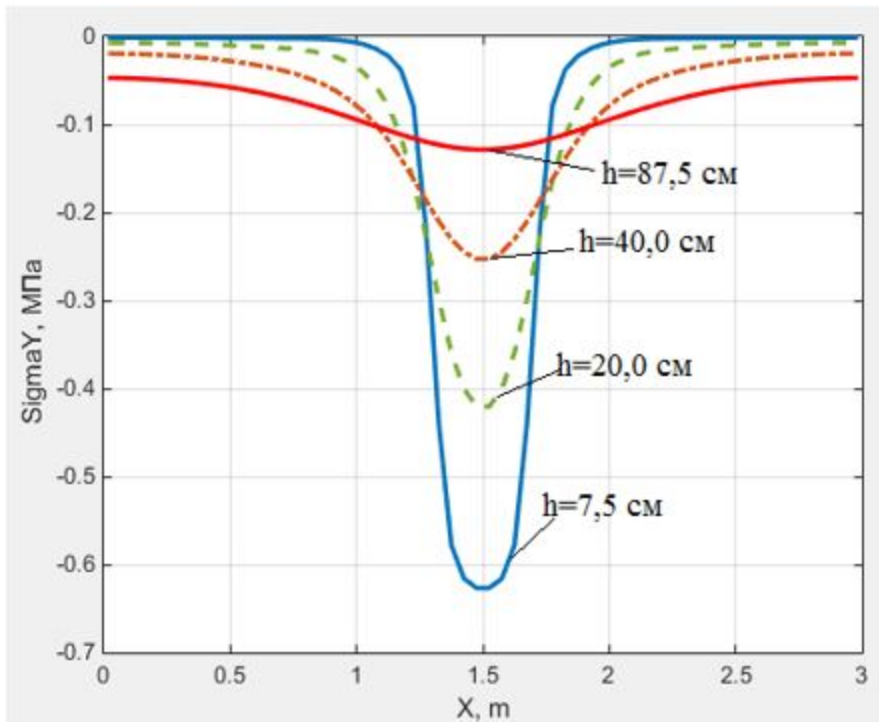
19-сурет – Тік қима нүктелерінің көлденең ығысуы



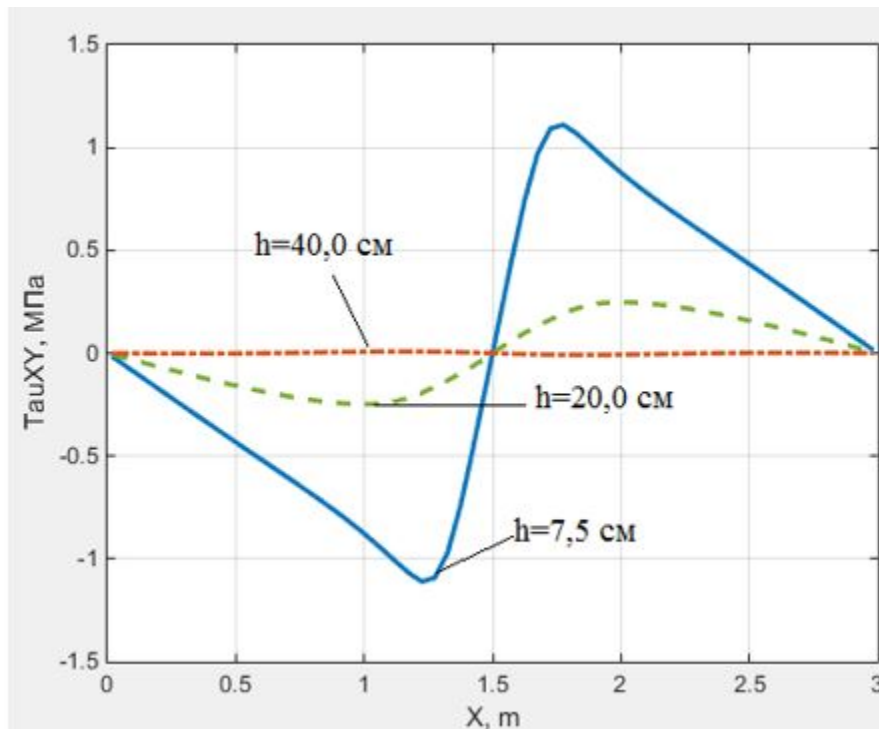
20-сурет - 1– $h=5$ см; 2– $h=15$ см; 3– $h=25$ см; 4– $h=45$ см; 5– $h=80$ см тереңдіктерінде орналасқан көлденең қима нүктелерінің тік ығысуы



21-сурет - h тереңдіктерде кернеулердің үлесуі



22-сурет - h тереңдіктерде кернеулердің үлесуі



23-сурет - h тереңдіктерде кернеулердің үлесуі

A қосымшасы (міндетті) BASIC_NDS_MKE_8_uzlov бағдарламасының бастапқы коды

1 %BASIC_NDS_MKE_8_uzlov

```

2  % бағдарламысыны базалық нұсқасы
3
4  % СОҢҒЫ ЭЛЕМЕНТТЕР ӘДІСІМЕН 8 ТҮЙІНДІ КВАДРАТТЫ ЭЛЕМЕНТТІҢ
5  % КӨМЕГІМЕН ҚҚС ТУРАЛЫ ТЕСТІЛІК ТАПСЫРМАСЫН
6  % ШЕШУ
7
8  % Әзірлеменің басталуы 8.07.2017 ж
9  % аяқталуы 1.09.2018 ж
10
11 tic
12
13 ever=23; egor=60; % соңғы-элементтік бөліну элементтеріндегі
14 % тік (ever) және
15 % көлденең (egor) қатарлардағы соңғы элементтер саны
16 np=(3*ever+2)*egor+2*ever+1; % түйіндердің жалпы саны
17 x=zeros(np); y=zeros(np);
18
19 % ЭЛЕМЕНТТЕРДІ НӨМІРЛЕУ ТӘРТІБІ – СОЛДАН ОҢҒЫ (ҚАТАРЛАР
20 % ТӨМЕННЕН БАСТАЛАДЫ)
21 % ТҮЙІНДЕРДІ НӨМІРЛЕУ ТӘРТІБІ - СОЛДАН ОҢҒЫ. ТҮЙІНДЕР
22 % ҚАТАРЫ ДА
23 % ТӨМЕННЕН БАСТАЛАДЫ. ТҮЙІНДЕРДІҢ АРАЛЫҚ ҚАТАРЛАРЫ,
24 % ЭЛЕМЕНТТЕР ОРТАСЫ АРҚЫЛЫ ӨТЕТІН
25 % egor+1 ТҮЙІНДЕРДЕН ТҰРАДЫ
26
27 % ЖЫЛЖУЛАРДАҒЫ ШЕКТІК ЖАҒДАЙЛАРДЫ БЕРУ ҮШІН БЕРІЛГЕН МӨНДЕРІ
28 % БАР ТҮЙІНДЕР НӨМІРЛЕРІНІҢ АУҚЫМДАРЫН ҚАЛЫПТАСТЫРУ
29
30 Mz=zeros(400);
31 np=ever*(3*egor+2)+2*egor+1;
32 for i=1:(2*egor+1)
33 Mz(i)=i;
34 end
35 k=2*egor+2;
36 for i=1:ever
37 Mz(k)=(2*egor+1)+1+(i-1)*(3*egor+2);
38 Mz(k+1)=Mz(k)+egor;
39 Mz(k+2)=Mz(k+1)+1;
40 Mz(k+3)=Mz(k+2)+2*egor;
41 k=k+4;
42 end
43 for i=1:(2*egor+1)
44 Mz(k)=Mz(i)+np;
45 k=k+1;

```

```

42 end
43
44 % МЕТРЛАРДАҒЫ КООРДИНАТ ӨСТЕРІ БОЙЫНША АУҚЫМДЫ АДЫМДАР
45 format long
46 dx=zeros(2*egor);
47 dy=zeros(2*ever);
48
49 dx=[
50 0.250e-01 0.250e-01 0.250e-01 0.250e-01 0.250e-01 0.250e-01 0.250e-01 ...
51 0.250e-01 0.250e-01 0.250e-01 0.250e-01 0.250e-01 0.250e-01 0.250e-01 ...
52 0.250e-01 0.250e-01 0.250e-01 0.250e-01 0.250e-01 0.250e-01 0.250e-01 ...
53 0.250e-01 0.250e-01 0.250e-01 0.250e-01 0.250e-01 0.250e-01 0.250e-01 ...
54 0.250e-01 0.250e-01 0.250e-01 0.250e-01 0.250e-01 0.250e-01 0.250e-01 ...
55 0.250e-01 0.250e-01 0.250e-01 0.250e-01 0.250e-01 0.250e-01 0.250e-01 ...
56 0.250e-01 0.250e-01 0.250e-01 0.250e-01 0.250e-01 0.250e-01 0.250e-01 ...
57 0.250e-01 0.250e-01 0.250e-01 0.250e-01 0.250e-01 0.250e-01 0.250e-01 ...
58 0.250e-01 0.250e-01 0.250e-01 0.250e-01];
59
60 dy=[0.1000 0.1000 0.1000 0.1000 0.1000 0.1000 0.1000 ...
61 0.1000 0.1000 0.1000 0.1000 0.1000 0.0750 0.0750 ...
62 0.0625 0.0625 0.0500 0.0500 0.0500 0.0500 0.0250 ...
63 0.0250 0.0250];
64
65 yy=[0.000 0.200 0.400 0.600 0.800 1.000 1.200 1.400 1.600 1.800 2.000 2.200 ...
66 2.400 2.550 2.700 2.825 2.950 3.050 3.150 3.250 3.350 3.400 3.450 3.500];
67
68 % КООРДИНАТТАРДЫ ҚАЛЫПТАСТЫРУ БЛОГЫ
69 % x өсіне оң бағыт – солдан оңға
70 % y өсіне оң бағыт – төменнен жоғарыға
71 k=1;
72 NN=zeros(ever);
73 for n=1:ever
74 for m=1:egor
75 n1=2*m-1+(3*egor+2)*(n-1); n2=n1+1; n3=n1+2;
76 n4=n3+2*egor-m+1; n5=n3+(3*egor+2);
77 n6=n5-1; n7=n5-2; n8=n4-1;
78
79 x(n1)=(m-1)*2*dx(m); x(n2)=x(n1)+dx(m); x(n3)=x(n1)+2*dx(m);
80 x(n4)=x(n3); x(n5)=x(n3); x(n6)=x(n2); x(n7)=x(n1); x(n8)=x(n1);
81
82 y(n1)=yy(n); y(n2)=y(n1); y(n3)=y(n1); y(n4)=y(n3)+dy(n);
83 y(n5)=y(n3)+2*dy(n); y(n6)=y(n5); y(n7)=y(n5); y(n8)=y(n4);
84 if(m==36)

```

```

85 NN(2*k-1)=n3;
86 NN(2*k)=n4;
87 k=k+1;
88 end
89 end
90 end
91 NN(1:2*ever+1);
92
93 % БАСТАПҚЫ МӘЛІМЕТТЕР ЖӘНЕ МАТРИЦАЛАРДЫҢ НӨЛДЕНУІ
94 np2=2*np;
95 K=zeros(np2,np2);
96 U=zeros(np2+1);
97 U0=zeros(np2+1);
98 F=zeros(np2);
99
100 % ҚҰРЫЛЫМДЫҚ ҚАБАТ МАТЕРИАЛДАРЫНЫҢ АТАУЫ (ЖОҒАРЫДАН ТӨМЕНГЕ)
101 % 1. ҰТ ТЫҒЫЗ АБ
102 % 2. ІТ КЕУЕК АБ
103 % 3. 8% ШАҒЫЛ ТАСТЫ-ҚОСПА
104 % 4. ШАҒЫЛ ТАСТЫ ҚОСПА
105 % 5. ҚИЫРШЫҚ ТАСТЫ-ҚҰМДЫ ҚОСПА
106 % 6. ЖЕҢІЛ БАЛШЫҚ ТОПЫРАҚ
107
108 % ҚАБАТТАР МАТЕРИАЛДАРЫНЫҢ ФИЗИКА-МЕХАНИКАЛЫҚ
% СИПАТТАМАЛАРЫ (ЖОҒАРЫДАН ТӨМЕНГЕ)
109 E=[6933e+05 4142e+05 1000e+05 250e+05 180e+05 58e+05]; % Серп. модулі кг/м^2
110 nu=[0.18 0.27 0.30 0.30 0.30 0.35]; % ПУАССОН коэффициенті
111
112 % ЖҮКТЕМЕЛЕРДЕГІ ШЕКТІК ЖАҒДАЙЛАР
113
114 % Дара дөңгелектен түсетін жүктеме
115
116 % ИНТЕРНЕТТЕН АЛЫНҒАН МӘЛІМЕТТЕР
117 % 1 Па=0.102 кгс/м^2
118 % 0.6 МПа=6.12 кгс/см^2=60000.0 кгс/м^2
119
120 % ЭЛЕМЕНТТІҢ БҰРЫШТЫҚ ТҮЙІНДЕРІНЕ ҮЛЕСТІРІЛГЕН ДАРА
% ДӨҢГЕЛЕКТЕН ТҮСЕТІН ЖҮКТЕМЕ
121 % ЕСЕПТІК СҰЛБАНЫҢ ОРТАСЫНА ҚОЙЫЛАДЫ.
% Аралық түйіндер
122 % ескерілмейді
123
124 % ДӨҢГЕЛЕК ЖҮКТЕМЕСІ НОРМАТИВТІК ҚАРҚЫНДЫЛЫҚ
% ЕСЕБІНЕН ЕСЕПТЕЛЕДІ

```


125 % ЖҮКТЕМЕНИҢ $q=0.6$ МПа

126 % ЕГЕР $1 \text{ Па}=0.102 \text{ кгс/м}^2$ (Интернеттен) ОНДА

127 % $0.6 \text{ МПа}=6.12 \text{ кгс/см}^2 = 60000.0 \text{ кгс/м}^2$.

128 % Осылайша, егер жамылғының 1 метр бойынша 60000 кг салмақ тура келсе, онда

129 % 0.05 м бір арақашықтыққа – 3000 кг салмақ .

130 % Егер дөңгелектің енін 40 см деп, ал көлденең бағыттағы

131 % бір соңғы элементтің енін – 5 см деп қабылдасақ, онда көлік жүктемесі

132 % 8 соңғы элемент шегінде 9 түйін бойынша үлеседі

133 % Бұрыштық түйіндер арасындағы арақашықтық - 0.05 м (5 см – соңғы элементтің ені).

134 % Сонымен қатар келесіні ескеру қажет

135 % екі шеткі түйіндерге (1 -ші және 9 -түйіндер) жартылай жүктеме түседі.

136 % Мұндай жағдайда түйінді нүктелердегі жүктемелер

137 % келесіндей үлестіріледі:

138 % $P_1=P_9=1500$ кг, $P_2=P_3= \dots =P_8=3000$ кг

139

140 % БІР ТҮЙІНГЕ КЕЛЕТІН ЖҮКТЕМЕНИ ЕСЕПТЕУ

141 % ТҮЙІНДЕР АРАСЫНДАҒЫ АРАҚАШЫҚТЫҚ 0.025 М (аралық түйіндер ескеріледі)

142 % 1 М-ГЕ 60000 КГ САЛМАҚ ТУРА КЕЛЕДІ, АЛ 0.025 М БІР АРАҚАШЫҚТЫҚҚА

143 % 1500 КГ САЛМАҚ ТУРА КЕЛЕДІ

144

145 % НӘТИЖЕЛЕР КГ-ДА ЖӘНЕ МЕТРЛЕРДЕ АЛЫНАДЫ

146

147 % ЭПИОРАНЫҢ ОРТАЛЫҚ БӨЛІГІНЕ ТҮСІРІЛГЕН

148 % ТІК КҮШТЕРДІҢ ШАМАСЫ

149

150 $P=0.3e+04$; % кг

151

152 % КҮШ ТҮСІРІЛГЕН БҰРЫШТЫҚ ТҮЙІНДЕР НӨМІРЛЕРІ

153

154 $nF(1:9)=[4239 \ 4241 \ 4243 \ 4245 \ 4247 \ 4249 \ 4251 \ 4253 \ 4255]$;

155 for $i=1:9$

156 $j=nF(i)$;

157 $xP(i)=x(j)$;

158 end

159

160 % БҰРЫШТЫҚ ТҮЙІНДЕРГЕ КҮШ ТҮСІРУ

161 $F(nF(1)+np)=-P/2$;

162 $F(nF(9)+np)=-P/2$;

163 for $i=1:7$

164 $F(nF(1+i)+np)=-P$;

165 end

166

167 % ЭЛЕМЕНТ ҚАТТЫЛЫҒЫНЫҢ [ke] МАТРИЦАСЫН ЖӘНЕ

```

168 % ЖҮЙЕ ҚАТТЫЛЫҒЫНЫҢ [К] ҒАЛАМДЫҚ МАТРИЦАСЫН ҚАЛЫПТАСТЫРУ
169
170 mpe=[-0.577350 0.577350]; % ИНТЕГРАЛДАУ НҮКТЕЛЕРЕНІҢ КООРДИНАТТАРЫ
171 mH=[1 1]; % САЛМАҚТЫҚ КОЭФФИЦИЕНТТЕР
172 K=zeros(np2,np2);
173 for n=1:ever
174 for m=1:egor
175 n1=2*m-1+(3*egor+2)*(n-1); n2=n1+1; n3=n1+2;
176 n4=n3+2*egor-m+1; n5=n3+(3*egor+2);
177 n6=n5-1; n7=n5-2; n8=n4-1;
178
179 X1=x(n1); Y1=y(n1);
180 X2=x(n3); Y2=y(n3);
181 X3=x(n5); Y3=y(n5);
182 X4=x(n7); Y4=y(n7);
183
184 % ЖАЗЫҚ ДЕФОРМАЦИЯ ЖАҒДАЙЫ ҮШІН СЕРПІМДІЛІК МАТРИЦАСЫН
% ҚАЛЫПТАСТЫРУ
185 if((n>=1)&(n<=7))
186 e1=E(6); nu1=nu(6); % ЖЕҢІЛ БАЛШЫҚ ТОПЫРАҚ
187 end
188 if((n>=8)&(n<=12))
189 e1=E(5); nu1=nu(5); % ҚИЫРШЫҚ ТАСТЫ-ҚҰМДЫ ҚОСПА
190 end
191 if((n>=13)&(n<=16))
192 e1=E(4); nu1=nu(4); % ШАҒЫЛ ТАСТЫ ҚОСПА
193 end
194 if((n>=17)&(n<=20))
195 e1=E(3); nu1=nu(3); % 8% ШАҒЫЛ ТАТЫ-ҚҰМДЫ ҚОСПА
196 end
197 if((n>=21)&(n<=22))
198 e1=E(2); nu1=nu(2); % ІТ КЕУЕК АБ
199 end
200 if(n==23)
201 e1=E(1); nu1=nu(1); % ҰТ ТЫҒЫЗ АБ
202 end
203
204 D=zeros(3,3);
205 D(3,3)=e1/(2*(1+nu1)); D(2,2)=2*D(3,3)*(1-nu1)/(1-2*nu1);
206 D(1,1)=D(2,2); D(1,2)=2*D(3,3)*nu1/(1-2*nu1);
207 D(2,1)=D(1,2);
208
209 dJ=abs((X1-X2)*(Y2-Y4))/4; % якобиан

```

```

210
211 % ЭЛЕМЕНТ ҚАТТЫЛЫҒЫНЫҢ[Ke] МАТРИЦАСЫНДАҒЫ ҚОС ИНТЕГРАЛДЫ
212 % САНДЫҚ ИНТЕГРАЛДАУ ҮШІН
213
214 % BtDBnds1(psi,eta,D,X1,X2,Y1,Y3) – ішкі есептеу бағдарламасы
215 % элемент қаттылығының матрицасының
216 Ke=zeros(16,16);
217 psi=mpe(1); eta=mpe(1);
218 k11=BtDBnds1(psi,eta,D,X1,X2,Y1,Y3);
219 psi=mpe(1); eta=mpe(2);
220 k12=BtDBnds1(psi,eta,D,X1,X2,Y1,Y3);
221 psi=mpe(2); eta=mpe(1);
222 k21=BtDBnds1(psi,eta,D,X1,X2,Y1,Y3);
223 psi=mpe(2); eta=mpe(2);
224 k22=BtDBnds1(psi,eta,D,X1,X2,Y1,Y3);
225 Ke=dJ*(mH(1)*(mH(1)*k11+mH(2)*k12)+mH(2)*(mH(1)*k21+mH(2)*k22));
226
227 ne8=[n1 n2 n3 n4 n5 n6 n7 n8];
228 for i=1:8
229 for j=1:8
230 K(ne8(i),ne8(j))=K(ne8(i),ne8(j))+Ke(i,j);
231 K(ne8(i),ne8(j)+np)=K(ne8(i),ne8(j)+np)+Ke(i,j+8);
232 K(ne8(i)+np,ne8(j))=K(ne8(i)+np,ne8(j))+Ke(i+8,j);
233 K(ne8(i)+np,ne8(j)+np)=K(ne8(i)+np,ne8(j)+np)+Ke(i+8,j+8);
234 end
235 end
236 end
237 end
238
239 disp('K матрицасы қалыптастырылды ')
240
241 % САТЖ ТҮРЛЕНДІРУ
242
243 np2=2*np;
244 i=1;
245 for n=1:np2
246 if(n==Mz(i))
247 F(n)=K(n,n)*U(n);
248 for m=1:np2
249 if(m~=n)
250 K(n,m)=0.0;
251 end

```

```

252 end
253 i=i+1;
254 end
255 end
256
257 i=1;
258 for n=1:np2
259 if(n==Mz(i))
260 for m=1:np2
261 if(m~=n)
262 F(m)=F(m)-K(m,n)*U(n);
263 K(m,n)=0.0;
264 end
265 end
266 i=i+1;
267 end
268 end
269
270 % САТЖ ШЕШИМІ
271 U=K\F;
272 disp(' [K]{U}={F} жүйесі шешілді ')
273
274 % Сипатты тік қималардағы түйіндер нөмірлері
275 nom12=[
276 49 146 231 328 413 510 595 692 ...
277 777 874 959 1056 1141 1238 1323 1420 ...
278 1505 1602 1687 1784 1869 1966 2051 2148 ...
279 2233 2330 2415 2512 2597 2694 2779 2876 ...
280 2961 3058 3143 3240 3325 3422 3507 3604 ...
281 3689 3786 3871 3968 4053 4150 4235];
282 nom15=[
283 61 152 243 334 425 516 607 698 ...
284 789 880 971 1062 1153 1244 1335 1426 ...
285 1517 1608 1699 1790 1881 1972 2063 2154 ...
286 2245 2336 2427 2518 2609 2700 2791 2882 ...
287 2973 3064 3155 3246 3337 3428 3519 3610 ...
288 3701 3792 3883 3974 4065 4156 4247];
289 nom18=[
290 73 158 255 340 437 522 619 704 ...
291 801 886 983 1068 1165 1250 1347 1432 ...
292 1529 1614 1711 1796 1893 1978 2075 2160 ...
293 2257 2342 2439 2524 2621 2706 2803 2888 ...
294 2985 3070 3167 3252 3349 3434 3531 3616 ...

```

```

295 3713 3798 3895 3980 4077 4162 4259];
296
297 % ОРТАША ҚИМАДАҒЫ ТҮЙІНДЕРДІҢ КӨЛДЕНЕҢ ЖЫЛЖУЛАР КЕСТЕЛЕРІ
298 Y=zeros(2*ever+1);
299 X150=zeros(2*ever+1);
300 X120=zeros(2*ever+1);
301 X180=zeros(2*ever+1);
302 for i=1:2*ever+1
303 j120=nom12(i);
304 j150=nom15(i);
305 j180=nom18(i);
306 Y(i)=y(j150);
307 X120(i)=U(j120)-0.0001; % 30 CM ТІК СИММЕТРИЯ ӨСІНЕН СОЛ ЖАҚТА
308 X150(i)=U(j150)*10; % ТІК СИММЕТРИЯ ӨСІНДЕ
309 X180(i)=U(j180)+0.0001; % 30 CM ТІК СИММЕТРИЯ ӨСІНЕН
% ОҢ ЖАҚТА
310 end
311 hPlot=plot(X150,Y,'b-',X120,Y,'r-',X180,Y,'k-');grid on;xlabel('Ux, m');ylabel('y, m')
312 set(hPlot,'LineWidth',2);
313
314 figure
315
316 % ТҮЙІНДЕРДІҢ КӨЛДЕНЕҢ ҚАТАРЛАРЫНЫҢ АУҚЫМДАРЫН ҚАЛЫПТАСТЫРУ % Nv(I,m)
317
318 % 2*egor+1 ТЕҢ ӘРБІР ТОЛЫҚ КӨЛДЕНЕҢ ҚАТАРДАҒЫ ТҮЙІНДЕРДІҢ
% ЖАЛПЫ САНЫ
319 % ОСЫНДАЙ КӨЛДЕНЕҢ ҚАТАРЛАРДЫҢ САНЫ ever+1 ТЕҢ
% ЭЛЕМЕНТТЕР ОРТАСЫНАН ӨТЕТІН ҚИМАЛАР
320 % ҚАРАСТЫРЫЛМАЙДЫ.
% ОЛАР ӘРБІР КӨЛДЕНЕҢ ДЕҢГЕЙДЕ (ТЕРҢДІКТЕ) ІЗДЕЛЕТІН
321 % ШАМАЛАРДЫҢ КЕСТЕЛЕРІН ҚҰРУ ҮШІН
322 % ПАЙДАЛАНЫЛАДЫ
323
324 Nv=zeros(ever+1,2*egor+1);
325 for n=1:(ever+1)
326 for m=1:(2*egor+1)
327 I=2*n-1;
328 Nv(I,m)=m+(3*egor+2)*(n-1);
329 end
330 end
331 for n=1:ever
332 for m=1:(egor+1)
333 I=2*n;
334 Nv(I,2*m-1)=m+(2*egor+1)*n+(egor+1)*(n-1);

```

```

335 end
336 end
337
338 format short
339 Set=zeros(2*ever+1,4);
340 for n=1:2*ever+1
341 i=Nv(n,1);
342 Set(n,1)=n;
343 Set(n,2)=i;
344 Set(n,3)=y(i);
345 Set(n,4)=3.50-y(i);
346 end
347 for m=1:47
348 % fprintf('%6u %6u %10.4f %10.4f\n',Set(m,1),Set(m,2),Set(m,3),Set(m,4));
349 end
350
351 % h ТЕРЕҢДІКТЕРІНДЕГІ КӨЛДЕНЕҢ ҚИМАЛАРДЫҢ ТІК ЖЫЛЖУЛАРЫНЫҢ
352 % КЕСТЕЛЕРІ
353 X=zeros(2*egor+1);
354 Y=zeros(2*egor+1);
355 for i=1:(2*egor+1)
356 j=Nv(45,i); % ТЕРЕҢДІК h=5 CM
357 X(i)=x(j);
358 Y(i)=U(j+np);
359 end
360 hPlot=plot(X,Y,'-');grid on;xlabel('X, m');ylabel('Uy, m')
361 set(hPlot,'LineWidth',2);
362 hold on
363
364 X=zeros(2*egor+1);
365 Y=zeros(2*egor+1);
366 for i=1:(2*egor+1)
367 j=Nv(41,i); % ТЕРЕҢДІК h=15 CM
368 X(i)=x(j);
369 Y(i)=U(j+np);
370 end
371 hPlot=plot(X,Y,'-');grid on;xlabel('X, m');ylabel('Uy, m')
372 set(hPlot,'LineWidth',2);
373 hold on
374
375 X=zeros(2*egor+1);
376 Y=zeros(2*egor+1);
377 for i=1:(2*egor+1)

```

```

378 j=Nv(39,i); % ТЕРЕНДІК h=25 CM
379 X(i)=x(j);
380 Y(i)=U(j+np);
381 Ux325(i)=U(j);
382 Uy325(i)=Y(i);
383 end
384 hPlot=plot(X,Y,'-');grid on;xlabel('X, m');ylabel('Uy, m')
385 set(hPlot,'LineWidth',2);
386 hold on
387
388 for i=1:(2*egor+1)
389 j=Nv(35,i); % ТЕРЕНДІК h=45 CM
390 X(i)=x(j);
391 Y(i)=U(j+np);
392 X345(i)=X(i);
393 Ux305(i)=U(j);
394 Uy305(i)=Y(i);
395 end
396 hPlot=plot(X,Y,'-');grid on;xlabel('X, m');ylabel('Uy, m')
397 set(hPlot,'LineWidth',2);
398 hold on
399
400 for i=1:(2*egor+1)
401 j=Nv(29,i); % ТЕРЕНДІК h=80 CM
402 X(i)=x(j);
403 Y(i)=U(j+np);
404 Ux270(i)=U(j);
405 Uy270(i)=Y(i);
406 end
407 hPlot=plot(X,Y,'-.');grid on;xlabel('X, m');ylabel('Uy, m')
408 set(hPlot,'LineWidth',2);
409
410 figure
411
412 % ЭЛЕМЕНТТЕРДІҢ ОРТАЛЫҚ НҮКТЕЛЕРІНДЕГІ ДЕФОРМАЦИЯЛАР
413 % КОМПОНЕНТТЕРІН ЕСЕПТЕУ (eps=0.0, eta=0.0)
414
415 epsX0=zeros(ever*egor);
416 epsY0=zeros(ever*egor);
417 gamXY0=zeros(ever*egor);
418
419 for n=1:ever
420 for m=1:egor

```

```

421 n1=2*m-1+(3*egor+2)*(n-1); n2=n1+1; n3=n1+2;
422 n4=n3+2*egor-m+1; n5=n3+(3*egor+2);
423 n6=n5-1; n7=n5-2; n8=n4-1;
424
425 dJ=abs((x(n1)-x(n3))*(y(n3)-y(n7)))/4; % якобиан
426 i=m+egor*(n-1);
427 epsX0(i)=(U(n4)-U(n8))/(x(n4)-x(n8));
428 epsY0(i)=(-U(n2+np)+U(n6+np))/(y(n6)-y(n2));
429 gamXY0(i)=(-U(n2)+U(n6))/(x(n4)-x(n8))+(U(n4+np)-U(n8+np))/(y(n6)-y(n2));
430 end
431 end
432
433 % ЖОЛМА-ЖОЛ ЭЛЕМЕНТТЕР НӨМІРІ
434 NEv=zeros(egor,egor);
435 for n=1:egor
436 for m=1:egor
437 i=m+egor*(n-1);
438 NEv(n,m)=i;
439 end
440 end
441
442 % ДЕФОРМАЦИЯЛАР МЕН КЕРНЕУЛЕР ЕСЕПТЕЛІНЕТІН ОРТАЛЫҚ
% КЕРНЕУДІҢ НӨМІРІ
443 % NEv(n,m) АУЫҚЫМЫНДА ОРНАЛАСҚАН ЭЛЕМЕНТ НӨМІРІНЕ СӘЙКЕС КЕЛЕДІ
444
445 X=zeros(egor); Y25=zeros(egor); Y200=zeros(egor); Y400=zeros(egor);
446 for m=1:egor
447 n=Nv(1,2*m);
448 X(m)=x(n);
449 i25=NEv(23,m);
450 i200=NEv(20,m);
451 i400=NEv(18,m);
452 Y25(m)=epsX0(i25); % 2,5 см
453 Y200(m)=epsX0(i200); % 20,0 см
454 Y400(m)=epsX0(i400); % 40,0 см
455 end
456 hPlot=plot(X,Y25,'-',X,Y200,'--',X,Y400,'-.');...
457 grid on;xlabel('X, m');ylabel('epsX')
458 set(hPlot,'LineWidth',2);
459 figure
460
461 X=zeros(egor); Y25=zeros(egor); Y200=zeros(egor); Y400=zeros(egor);
462 for m=1:egor

```



```

463 n=Nv(1,2*m);
464 X(m)=x(n);
465 i25=NEv(23,m);
466 i200=NEv(20,m);
467 i400=NEv(18,m);
468 Y25(m)=epsY0(i25); % 2,5 см
469 Y200(m)=epsY0(i200); % 20,0 см
470 Y400(m)=epsY0(i400); % 40,0 см
471 end
472 hPlot=plot(X,Y25,'-',X,Y200,'--',X,Y400,'-.');...
473 grid on;xlabel('X, m');ylabel('epsY')
474 set(hPlot,'LineWidth',2);
475 figure
476
477 % ЭЛЕМЕНТТЕРДІҢ ОРТА НҮКТЕЛЕРІНДЕГІ Sigma КЕРНЕУЛЕР
478 % КОМПОНЕНТТЕРІН ЕСЕПТЕУ (eps=0.0, eta=0.0)
479 SigX=zeros(ever); SigY=zeros(ever);
480 k=0;
481 for n=1:ever
482 for m=1:egor
483 n1=2*m-1+(3*egor+2)*(n-1); n2=n1+1; n3=n1+2;
484 n4=n3+2*egor-m+1; n5=n3+(3*egor+2);
485 n6=n5-1; n7=n5-2; n8=n4-1;
486
487 % ЖАЗЫҚ ДЕФОРМАЦИЯ ЖАҒДАЙЫ ҮШІН СЕРПІМДІЛІК МАТРИЦАСЫН
488 % ҚАЛЫПТАСТЫРУ
488 if((n>=1)&(n<=7))
489 e1=E(6); nu1=nu(6); % ЖЕҢІЛ БАЛШЫҚ ТОПЫРАҚ
490 end
491 if((n>=8)&(n<=12))
492 e1=E(5); nu1=nu(5); % ҚИЫРШЫҚ ТАСТЫ-ҚҰМДЫ ҚОСПА
493 end
494 if((n>=13)&(n<=16))
495 e1=E(4); nu1=nu(4); % ШАҒЫЛ ТАСТЫ ҚОСПА
496 end
497 if((n>=17)&(n<=20))
498 e1=E(3); nu1=nu(3); % 8% ШАҒЫЛ ТАСТЫ-ҚҰМДЫ ҚОСПА
499 end
500 if((n>=21)&(n<=22))
501 e1=E(2); nu1=nu(2); % ІТ КЕУЕК АБ
502 end
503 if(n==23)
504 e1=E(1); nu1=nu(1); % ҰТ ТЫҒЫЗ АБ

```

```

505 end
506
507 D=zeros(3,3);
508 D(3,3)=e1/(2*(1+nu1)); D(2,2)=2*D(3,3)*(1-nu1)/(1-2*nu1);
509 D(1,1)=D(2,2); D(1,2)=2*D(3,3)*nu1/(1-2*nu1);
510 D(2,1)=D(1,2);
511
512 X1=x(n1); X2=x(n3); Y2=y(n3); Y4=y(n7);
513 dJ=abs((X1-X2)*(Y2-Y4))/4; % Якобиан
514 G=e1/(2*(1+nu1));
515
516 i=m+egor*(n-1);
517 % В МПа
518 SigmaX0(i)=(D(1,1)*epsX0(i)+D(1,2)*epsY0(i))/100000;
519 SigmaY0(i)=(D(2,1)*epsX0(i)+D(2,2)*epsY0(i))/100000;
520 TauXY0(i)=D(3,3)*gamXY0(i)/100000;
521 if(m==30)
522 k=k+1;
523 SigX(n)=SigmaX0(i);
524 SigY(n)=SigmaY0(i);
525 end
526 end
527 end
528
529 % КЕРНЕУЛЕР КОМПОНЕНТТЕРІНІҢ КЕСТЕСІН ҚҰРУ SigmaX0, SigmaY0 И
530 % TauXY0 ЭЛЕМЕНТТЕРДІҢ ОРТА ТҮЙІНДЕРІНДЕ
531
532 X=zeros(egor); Y23=zeros(egor); Y22=zeros(egor); Y20=zeros(egor);
533 Y18=zeros(egor); Y14=zeros(egor); Y12=zeros(egor);
534 for m=1:egor
535 n=Nv(1,2*m);
536 X(m)=x(n);
537 i23=NEv(23,m); % h=2,5 см
538 i22=NEv(22,m); % h=7,5 см
539 i20=NEv(20,m); % h=20,0 см
540 i18=NEv(18,m); % h=40,0 см
541 i14=NEv(14,m); % h=87,5 см
542 i12=NEv(12,m); % h=120,0 см
543 Y23(m)=SigmaX0(i23); % 2,5 см
544 Y22(m)=SigmaX0(i22); % 7,5 см
545 Y20(m)=SigmaX0(i20); % 20,0 см
546 Y18(m)=SigmaX0(i18); % 40,0 см
547 Y14(m)=SigmaX0(i14); % 87,5 см

```

```

548 Y12(m)=SigmaX0(i12); % 120,0 cm
549 end
550 hPlot=plot(X,Y22,'-',X,Y20,'--',X,Y18,'-',X,Y14,'-r');...
551 grid on;xlabel('X, m');ylabel('SigmaX, MIIa')
552 set(hPlot,'LineWidth',2);
553 figure
554
555 X=zeros(egor); Y23=zeros(egor); Y22=zeros(egor); Y20=zeros(egor);
556 Y18=zeros(egor); Y14=zeros(egor); Y12=zeros(egor);
557 for m=1:egor
558 n=Nv(1,2*m);
559 X(m)=x(n);
560 i23=NEv(23,m); % h=2,5 cm
561 i22=NEv(22,m); % h=7,5 cm
562 i20=NEv(20,m); % h=20,0 cm
563 i18=NEv(18,m); % h=40,0 cm
564 i14=NEv(14,m); % h=87,5 cm
565 i12=NEv(12,m); % h=120,0 cm
566 Y23(m)=SigmaY0(i23); % 2,5 cm
567 Y22(m)=SigmaY0(i22); % 7,5 cm
568 Y20(m)=SigmaY0(i20); % 20,0 cm
569 Y18(m)=SigmaY0(i18); % 40,0 cm
570 Y14(m)=SigmaY0(i14); % 87,5 cm
571 Y12(m)=SigmaY0(i12); % 120,0 cm
572 end
573 hPlot=plot(X,Y22,'-',X,Y20,'--',X,Y18,'-',X,Y14,'-r');...
574 grid on;xlabel('X, m');ylabel('SigmaY, MIIa')
575 set(hPlot,'LineWidth',2);
576 figure
577
578 X=zeros(egor); Y23=zeros(egor); Y22=zeros(egor); Y20=zeros(egor);
579 Y18=zeros(egor); Y14=zeros(egor); Y12=zeros(egor);
580 for m=1:egor
581 n=Nv(1,2*m);
582 X(m)=x(n);
583 i23=NEv(23,m); % h=2,5 cm
584 i22=NEv(22,m); % h=7,5 cm
585 i21=NEv(21,m); % h=12,5 cm
586 i20=NEv(20,m); % h=20,0 cm
587 i18=NEv(18,m); % h=40,0 cm
588 i16=NEv(16,m); % h=61,25 cm
589 i14=NEv(14,m); % h=87,5 cm
590 i12=NEv(12,m); % h=120,0 cm

```

```

591 Y23(m)=TauXY0(i23); % 2,5 см
592 Y22(m)=TauXY0(i22); % 7,5 см
593 Y21(m)=TauXY0(i21); % 12,5 см
594 Y20(m)=TauXY0(i20); % 20,0 см
595 Y18(m)=TauXY0(i18); % 40,0 см
596 Y16(m)=TauXY0(i16); % 61,25 см
597 Y14(m)=TauXY0(i14); % 87,5 см
598 Y12(m)=TauXY0(i12); % 120,0 см
599 end
600 hPlot=plot(X,Y22,'-',X,Y20,'--',X,Y14,'-.');...
601 grid on;xlabel('X, m');ylabel('TauXY, МПа')
602 set(hPlot,'LineWidth',2);
603
604 toc

```

Б қосымшасы (міндетті) BtDBnds кіші бағдарламасының бастапқы коды

```

1 function[BDB]=BtDBnds(psi,eta,D,X1,X2,Y1,Y3);
2 A=(-2/(X1-X2));
3 B1=A*(1-eta)*(2*psi+eta)/4; B2= A*(-psi*(1-eta));
4 B3= A*(1-eta)*(2*psi-eta)/4; B4= A*(1-eta^2)/2;
5 B5= A*(1+eta)*(2*psi+eta)/4; B6= A*(-psi*(1+eta));
6 B7= A*(1+eta)*(2*psi-eta)/4; B8= A*(-(1-eta^2)/2);
7 B=(-2/(Y1-Y3));
8 C1=B*(1-psi)*(psi+2*eta)/4; C2=-B*(1-psi^2)/2;
9 C3=B*(1+psi)*(-psi+2*eta)/4; C4=-B*eta*(1+psi);
10 C5=B*(1+psi)*(psi+2*eta)/4; C6=B*(1-psi^2)/2;
11 C7=B*(-(1-psi)*(psi-2*eta)/4); C8=-B*eta*(1-psi);
12
13
14 B=[B1 B2 B3 B4 B5 B6 B7 B8 0 0 0 0 0 0 0];
15 0 0 0 0 0 0 0 C1 C2 C3 C4 C5 C6 C7 C8;
16 C1 C2 C3 C4 C5 C6 C7 C8 B1 B2 B3 B4 B5 B6 B7 B8];
17 Bt=B';
18 BtD=Bt*D;
19 BDB=BtD*B;

```

Библиография

[1] Мартынов Н.Н., Иванов А.П. MATLAB 5.X. Есептеу, визуалдау, бағдарламалау. – М.:КУДИЦ-ОБРАЗ, 2000.-336 б.

[2] Коткин Г.Л., Черкасский В.С. MATLAB қолданып физикалық үдерістерді компьютерлік моделдеу: Оқу құралы/Новосиб. Новосибирск ун-т., 2001. 173 б.

[3] Потемкин В.Г. MATLAB 5.X инженерлік және ғылыми есептеулер жүйесі 2 томда. –М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 1999. 670 б.

[4] Тынкевич М.А. Сандық әдістер.-Кемерово.: КузГТУ.1977.-122 б.

[5] Сегерлинд Л. Шекті элементтер әдісін қолдану. М: Мир, 1979.–392 б.

[6] ҚР СТ 1293-2004 Қатты емес типті жол төсемелерінің серпімділік модулін анықтау әдістері және олардың жіктелуі.

© 2012. Қазақстан Республикасы Әділет министрлігінің «Қазақстан Республикасының Заңнама және құқықтық ақпарат институты» ШЖҚ РМҚ