ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ

"Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті"
комерциялық емес акционерлік қоғамы

Энергетика және машина жасау институты
«Инженерлік механика» кафедрасы

Шәкенов Әлнұр Нұрмұхаметұлы

VII класты иінтіректі пресс механизмінің кернеулі-деформациялы күйін зерттеу

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

6В07106 – «Инженерлік механика»

Алматы 2023

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРҒЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И.Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті коммерциялық емес акционерлік қоғамы

Энергетика және машина жасау институты
«Инженерлік механика» кафедрасы

ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ

«Инженерлік механика»
кафедрасының меңгерушісі
физ.-мат.ғыл. д-ры, профессор
_____ А. Қалтаев
«06» 06 2023 ж.

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

Тақырыбы: «VII класты иінтіректі пресс механизмінің кернеулі-деформациялы күйін зерттеу»

6В07106 – «Инженерлік механика»

Орындаған Шәкенов Ә.Н.

Пікір беруші
техн. ғыл. канд., доцент
_____ Б.А. Еспаев
«07» 06 2023 ж.

Ғылыми жетекші
техн. ғыл. канд., ассоц. проф.
_____ С.Қ. Жапаев
«07» 06 2023 ж.

Алматы 2023

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ

"Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті"
комерциялық емес акционерлік қоғамы

Энергетика және машина жасау институты
«Инженерлік механика» кафедрасы

БЕКІТЕМІН

«Инженерлік механика»
кафедрасының меңгерушісі
физ.-мат. ғыл. д-ры, профессор
_____ А. Қалтаев
"06" 06 2023 ж.

Дипломдық жұмысты орындауға
ТАПСЫРМА

Білім алушыға Шәкенов Әлнұр Нұрмұхаметұлы
Тақырыбы: « VII класты иінтіректі пресс механизмінің кернеулі-деформациялы күйін зерттеу»
Университет Ректорының 2022 жылғы «23» қараша №408-П/Ө бұйрығымен бекітілген.
Аяқталған жұмыстың тапсыру мерзімі «___» _____ 2023 ж.
Дипломдық жұмыстың бастапқы деректері: *VII класты иінтіректі пресс механизмінің есептік сұлбасы, геометриялық өлшемдері, түйіндер координаттары, жүктемелер мөлшері берілген*
Дипломдық жұмыста қарастырылатын мәселелер тізімі:

а) Мәселенің күйі және зерттеулердің мақсаттары;.
б) Иінтіректі пресс механизмдерінің конструктивтік ерекшеліктері;
в) Сырықты жүйелерді шекті элементтер әдісімен зерттеу;
г) Иінтіректі пресс механизмнің кернеулі-деформациялық күйін APM WinMachine бағдарламасымен зерттеу.

Графикалық материалдардың тізімі (міндетті түрде қажет сызбалар көрсетілген): жұмыстың 12 слайдтан тұратын презентациясы көрсетіледі.
Ұсынылған негізгі әдебиет: пайдаланылған әдебиеттер тізімі 18 атаудан тұрады.

Дипломдық жұмысты дайындау

КЕСТЕСІ

Бөлімдер атауы, қарастырылатын мәселелер тізімі	Ғылыми жетекші мен кеңесшілерге ұсыну мерзімдері	Ескерту
1. Мәселенің жай-күйі және зерттеулердің мақсаттары.		
2. Иінтіректі пресс механизмдерінің конструктивтік ерекшеліктері		
3. Сырықты жүйелерді шекті элементтер әдісімен зерттеу		
4. Иінтіректі пресс механизмнің кернеулі-деформациялық күйін APM WinMachine бағдарламасымен зерттеу.		

Аяқталған дипломдық жұмыс үшін, оған қатысты бөлімдердің жұмыстарын көрсетумен, кеңесшілер мен норма бақылаушының қойған

қолдары

Бөлімдер атауы	Кеңесшілер, аты, әкесінің аты, тегі (ғылыми дәрежесі, атағы)	Қол қойылған күні	Қолы
Норма бақылаушы	Е.Т. Бекенов, техн. ғыл. канд., ассоц.проф.	06.06.23	

Ғылыми жетекші _____ Жапаев С.Қ.

Тапсырманы орындауға алған білім алушы _____ Шәкенов Ә.Н.

Күні «06» 06 2023 ж.

АҢДАТПА

Бұл дипломдық жұмыста VII класты пресс механизимінің жобалық есептелуі қарастырылды. APM WinMachine бағдарламалық пакетіндегі APM Dynamics модулін пайдаланып қарастырылып отырған механизмнің кинематикалық моделі жасалды. Кинематикалық параметрлерді талдау нәтижелері графиктер түрінде ұсынылып, кестелерде жинақталған. APM WinMachine Structure3D бағдарламасында VII класты иін тректі пресс механизімін кернеулі-деформациялық күйін төрт түрлі орналасу күйінде зерттеу жүргізіліп, кернеу және орын ауыстыруға есептедік. Алынған мәндер график түрінде алынды.

АННОТАЦИЯ

В данной дипломной работе был рассмотрен конструкторский расчет прессового механизма VII класса. Кинематическая модель рассматриваемого механизма была создана с помощью модуля APM Dynamics в программном комплексе APM WinMachine. Результаты анализа кинематических параметров представлены в виде графиков и сведены в таблицы. В программе APM WinMachine Structure3D исследовано напряженно-деформированное состояние рычажного пресса VII класса в четырех различных положениях и рассчитаны напряжения и перемещения. Полученные значения были получены в виде графика.

ANNOTATION

In this thesis work, the design calculation of the class VII press mechanism was considered. The kinematic model of the considered mechanism was created using the APM Dynamics module in the APM WinMachine software package. The results of the analysis of kinematic parameters are presented in the form of graphs and summarized in tables. In the APM WinMachine Structure3D program, the stress-strain state of a class VII lever press in four different positions was studied and the stresses and displacements were calculated. The obtained values were obtained in the form of a graph.

МАЗМҰНЫ

Кіріспе		6
1	Иінтіректі пресс механизмдерінің конструктивтік ерекшеліктері	7
1.1	Иінтіректі пресстердің конструктивтік ерекшеліктері	7
1.2	Иінтіректі престеу механизмі туралы мәліметтер	9
1.3	Инітіректі механизмді құрылымдық және кинематикалық талдау	11
2	Сырықты жүйелерді шекті элементтер әдісімен зерттеу	15
2.1	Сырықтық жүйелер үшін шекті элементтер әдісінің негізгі тәуелділіктері	15
2.2	Локальді координат жүйесіндегі сырықтың қатандық матрицасы	15
2.3	Сырықтың жалпы координат жүйесіндегі қатандық матрицасы	18
2.4	Құрылғының қатандық матрицасын құру	19
2.5	Жүктеу векторын құру	22
2.6	Шекті элементтер әдісінің теңдеулер жүйесін шешу	22
2.7	Сырықтағы ішкі күштерді есептеу	22
2.8	Бастапқы мәліметтерді беру	24
3	Иінтіректі механизмнің кернеулі-деформациялық күйін зерттеу	25
3.1	APM WinMachine жүйесі	25
3.2	APM WinMachine бағдарламасының негізгі сипаттамалары	25
3.3	APM Dynamics модульінде механизимге кинематикалық талдау	26
3.4	Иінтіректі механизімнің кернеулі-деформациялық күйін APM Structure3D модулінде есептеу	30
Қорытынды		38
Пайдаланылған әдебиеттер тізімі		39

КІРІСПЕ

Агроөнеркәсіп кешені мен тау-кен металлургия өнеркәсібі, атом және жаңартылатын энергия технологиялары машина жасау өнімдерін қажет етеді. Мысалы, бұл салаларда металдарды және металл емес материалдарды қысыммен пішіндеуге арналған, рычагтық құрылымдарға негізделген соғу-штамптау жабдықтары (СШЖ) және соғу-штамптау машиналары (СШМ) кеңінен қолданылады. Соңғы онжылдықтарда әлемдік тәжірибеде ӘҚҰ құрылымы мен техникалық деңгейінде лазерлік, вибрациялық, импульстік және цифрлық жобалау технологияларын, компьютерлік басқаруды, мониторингті және техникалық диагностиканы қолдану бағытында сапалы өзгерістер орын алды.

Иінтіректі престердің басым көпшілігі екі буынды құрылымдық топтарға негізделген иінтіректі сырғымалы механизм негізінде жасалады. Тегіс иінтіректі механизмдерді зерттеу олардың құрылымының шексіз көп нұсқалары бар екенін және белгілі бір процесті жүзеге асыру үшін әртүрлі конструкцияларда рычаг механизмдерін қалыптастыруға болатынын көрсетеді. Рычагты механизмнің құрылымы неғұрлым күрделі болса, мұндай механизмдердің анализі мен синтезі соғұрлым қиын болады [1].

Машина механизмдерінің, оның ішінде иінтіректі престердің жаңа конструкцияларын әзірлеу математикалық модельдеуге негізделген талдау және синтез мәселелерін шешуді бастайды. Технологиялық процесті иінтіректі престерде жүзеге асырған кезде жұмыс сырғытпасының қозғалуының берілген циклограммасын қамтамасыз ету қажет: жылдам көтерілу, демалу, баяу түсіру. Иінтіректі престерді зерттеуде бұл мақсатқа жетудің екі жолы қарастырылады, біріншісі - бір еркіндік дәрежесі бар механизмнің синтезі, мұнда бұл қасиеттер кинематикалық қасиеттеріне енгізілген тізбек, екіншісі гибридті прес жүйесі деп аталатын кинематикалық тізбектің қосымша еркіндігіне байланысты осы мәселені шешу болып табылады [2-5].

[6] жұмыста екі еркіндік дәрежесі бар (2 DOF) жеті буынды иінтіректі механизм қарастырылады, онда бір жалпыланған координат тұрақты ток қозғалтқышы негізінде өзгертіледі (негізгі технологиялық процесті жүзеге асыру үшін), екінші - сервоқозғалтқыштың негізінде технологиялық процестің циклограммасын қамтамасыз ету

Аталмыш дипломдық жұмыста VII класты иінтіректі механизмнің кернеулі -деформациялы күйі зерттелді.

1 Иінтіректі пресс механизмдерінің конструктивтік ерекшеліктері

1.1 Иінтіректі престердің конструкциялық ерекшеліктері

Иінтіректі престерді пайдалану тиімділігін арттыру, атап айтқанда, соғудың өнімділігі мен сапасын арттыру, қолдану саласын кеңейту (мысалы, шағын өндірісте, ерекше ірі бұйымдарды өндіруде, төмен (балғамен) ыстық штамптауда) соғулар және т.б.) әмбебап жетектер, қорғау әдістері мен құрылғылары болмаған жағдайда мүмкін емес, өйткені басқаша штамптау және баптау кезінде шамадан тыс жүктемелердің жиілігі мен деңгейі оң экономикалық нәтижелерге қол жеткізуді болдырмайды.

Пресстің маңызды сипаттамаларының бірі оның құрылымдық элементтерінің қаттылығы болып табылады. Пресстің қаттылығы тиеу-түсіру фазаларының ұзақтығына айтарлықтай әсер етеді: звенолардың қаттылығы неғұрлым көп болса, соғумен штамптың жанасу уақыты соғұрлым қысқа болады. Бұл әсіресе ыстық штамптау процестерінде штамптардың беріктігін арттыру үшін маңызды. Дегенмен, пресс конструкциясының қаттылығының жоғарылауы оның металды тұтынуының ұлғаюына әкеледі, бұл әрқашан экономикалық тұрғыдан мүмкін емес. Мәселен, мысалы, бірқатар технологиялық операциялар үшін, атап айтқанда, суық соғу кезінде соғу сапасын жақсарту үшін, керісінше, қалып пен дайындаманың жанасу ұзақтығын ұлғайтқан жөн [5].

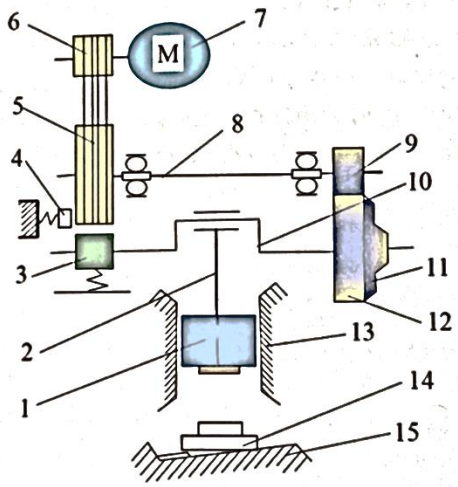
Сонымен бірге ғылым мен техниканың қол жеткізілген деңгейі иінтіректі престерді шамадан тыс жүктемелерден, соның ішінде атқарушы механизмдердің конструкциясының функционалдық ерекшеліктеріне байланысты қорғау әдістерін құру мәселесін шешуге мүмкіндік береді.

Иінтіректі престе электр қозғалтқышымен жұмыс істейтін соғу және штамптау жабдықтары жатады, іске қосу механизмінде иінтіректі механизмі бар, ал оған бекітілген аспап сырғытқыш болып табылады. Технологиялық процестің негізгі операциясын орындайтын сырғытпа негізгі сырғытпа деп аталады, ал негізгі сырғытпа мен иінді және оларды қосатын кинематикалық тізбекті қамтитын механизм негізгі жұмыс механизмі болып табылады. Иінтіректі престің негізгі жұмыс механизмінің принципиалды сұлбасы престе орындалатын технологиялық операцияның ерекшеліктерімен анықталады. 1.1-суретте қарапайым престің принциптік сұлбасы көрсетілген, ол келесі негізгі түйіндер мен бөлшектерден тұрады: 1-жұмыс сырғытпасы; 2-негізгі жұмыс механизмінің тежегіші; 3-негізгі жұмыс механизмінің тежегіші; 4-маховик тежегіші; 5-маховик; 6-шкив; 7-электр қозғалтқышы; 8-қабылдау білігі; 9-кіші тісті доңғалақ; 10-иінтіректі білік; 11-ілінісу; 12-үлкен тісті доңғалақ; 13-бағыттаушылар; 14-сына үстелі; 15-пресс негізі.

Айта кету керек, иінтіректі престер суық және ыстық штамптау операцияларының басым көпшілігінде қолданылады.

Технологиялық мақсаты бойынша пресстер: парақты штамптауға арналған престер; әмбебап; парақты бүгу; сору; автоматты машиналар; көлемді штамптауға арналған престер; иінтіректі ыстық штамптау; қырлы; көлденең

соғу; монета жасау; суық тақырып; доп; балдақтар; сым шеге; ұнтақтарды престеуге арналған; қайшы; жапырақты; сорттық; болып бөлінеді[7].



1.1-сурет – Қарапайым иінтіректі престің принципиалды сұлбасы

Дайындамаға әсер ету сипаты бойынша прес жұмыс істейтін сырғытпалар саны бойынша жай, екі және үш әрекетті престер болып бөлінеді.

Тұғыр конструкциясы бойынша иінтіректі престер ашық және жабық болып бөлінеді. Ашық престер үшін жұмыс кеңістігіне кіру үш жағынан, жабық престер үшін екі жағынан ашық.

Негізгі сырғытпаның қозғалыс сызығының орналасуына байланысты престер тік, көлденең және көлбеу болып бөлінеді.

Жаңа машинаны жобалау оның негізгі техникалық параметрлерін орнатудан басталады. Әмбебап машиналар үшін негізгі параметрлер мен өлшемдерге арналған мемлекеттік стандарттар (ГОСТ) бар [8].

Иінтіректі пресс машиналарының негізгі параметрлері бұл күш рұқсат етілген ең төменгі позицияға сырғытпаның кірісін емес, номиналды күшті қамтиды; сырғытпаның толық жүрісінің ұзындығы, сырғытпаның минутына жүру саны, жұмыс штамптау кеңістігінің өлшемдері.

Әмбебап емес (жаңа) машиналар үшін бұл параметрлер технологиялық процесті және осы типтегі ең прогрессивті жабдықты зерттеу негізінде таңдалады. Бұл ретте машиналарды жобалаудың бастапқы нүктесі технологиялық процестің жұмыс жүктемелерінің графиктері болып табылады. Негізгі параметрлердің мәнін орнатқаннан кейін олар тұтастай машинаның да, оның жеке құрамдас бөліктерінің де кинематикалық схемасын таңдауға көшеді. Есептеулер келесі реттілікпен орындалады [9].

Негізгі параметрлерді есептеуден кейінгі біріншісі - кинематикалық есептеу, онда механизмнің қозғалатын бөліктерінің жолдары, жылдамдықтары мен үдеулері анықталады. Содан кейін күш немесе кинетостатикалық есептеу орындалады, онда кіріс және шығыс буындарға, машинаның жеке элементтеріне әсер ететін күштер мен моменттер белгіленеді. Иінтіректі станоктардың

ерекшелігі олардың қуатын есептеу құралға белгілі күштер (номиналды күштер) әсер ететіндей жүзеге асырылады. Құралда пайда болатын күштер дайындаманың деформацияға қарсылығын есептеу арқылы анықталады. Бұл жағдайда престің сырғытпасы бойындағы күштің өзгеру сипаты немесе слайдтағы жұмыс жүктемелерінің кестесі үлкен мәнге ие.

Станоктың жеке элементтеріне әсер ететін күштер мен моменттерді нақтылағаннан кейін жеке бөлшектердің конструкторлық схемалары жасалады. Бұл есептеудің ең маңызды бөлігі, өйткені дұрыс дизайн схемасын таңдау бөліктің ең дұрыс дизайнына және материалды үнемді пайдалануға ықпал етеді.

Алынған бастапқы деректер жобалық есептеулер мен Autodesk Inventor және Apm Winmachine көмегімен иінтіректі престің 3D моделін құру үшін қажет. Autodesk Inventor механикалық және өнеркәсіптік 3D дизайнына арналған және динамикасын модельдеуге және бүкіл жинақтың соңғы элементтерін талдауға арналған құралдарды қамтиды. Autodesk Inventor 3D жүйесінде алынған иінтіректі пресс үлгісі оның прототипін жасау үшін конструкторлық құжаттаманы (DKD) әзірлеу үшін қажет. APM Winmachine сыртқы күштің және өз салмағының әсерінен иінтіректі престің буындарының кернеулі-деформациялық күйін зерттеуге мүмкіндік береді [10-11].

Бөлшектерді жобалауда және олардың өлшемдерін таңдауда әдебиеттерде және т.б. бар статистикалық мәліметтер үлкен көмек көрсетеді.

1.2 Иінтіректі престеу механизмі туралы мәліметтер

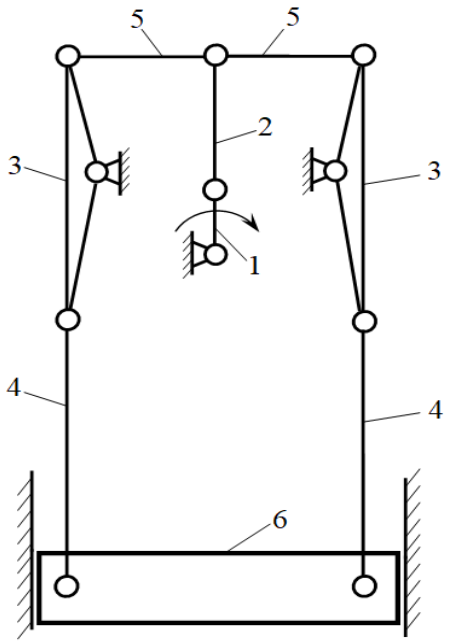
Біз өз жұмысымызда «Академик Ө.А. Жолдасбеков атындағы Механика және машинатану институтының» машина жасау саласына, атап айтқанда престеу механизмдерге қатысты өнертабысындағы механизмді қарастырмақпыз [12].

Пресс механизмі иінтіректі 1 оған қосылған шатун 2, негізге орналастырылған екі үш топсалы звено 3, екі жабатын шатун 4, екі қосымша звено 5 және екі топсалы сырғытпа 6 тұрады. Үш топсалы звенолар 3 екі иінтіректі рычагтар болып табылады, оның бір ұшы сәйкес жабатын шатун 4 арқылы сырғытпаға 6 қосылады, ал екінші ұшы - шатун 2 бар тиісті қосымша звено 5 арқылы қосылады. шатундар 4, екі үш топсалы звенолар 3 және екі қосымша звенолар 5 өз араларында жеті буынды тұйық айнымалы тізбек құрайды (1.1-сурет).

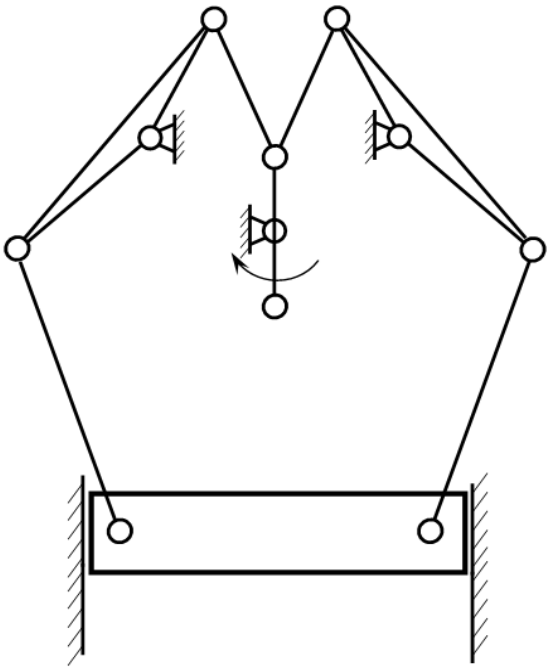
1.1-суретте сырғытпаның төменгі позициясындағы пресс механизмінің кинематикалық сұлбасы, ал 1.2-суретте сырғытпаның жоғарғы позициясында сұлбасы көрсетілген.

Иінтіректі пресстеу механизм келесідей жұмыс істейді. Иінтіректің 1 толық айналымда ол 2-байланыстырушы шатун, қосымша 5-буындар, 3-үш жұптық буындар және 5-жабылатын байланыстырушы шыбықтар арқылы 6-сырғытпаға кері қозғалысты қамтамасыз етеді, бұл ретте буындардың орналасуының симметриялылығы бүкіл жұмыс кезеңінде сақталады. 6-сырғытпаның төменгі позициясында 4-ші байланыстырушы шыбықтардың параллелдігі қамтамасыз

етіледі, бұл механизмдегі күштердің оңтайлы берілуін қамтамасыз етеді. Қос иінді 3 тұтқасының ұзындық қатынасын өзгерту арқылы 6 сырғытпаның жүрісін және ондағы күштің дамуын реттеуге болады.



1.2-сурет — Пресстеу механизмінің сырғытпаның төменгі жағдайындағы кинематикалық сұлбасы



1.3-сурет — Пресстеу механизмінің сырғытпаның жоғарғы жағдайындағы кинематикалық сұлбасы

1.3 Иінтіректі механизмді құрылымдық және кинематикалық зерттеу

Иінтіректі механизмді құрылымдық зерттеу

Механизмнің қозғалғыштық дәрежесі Малышев формуласымен анықталады

$$W = 6n - 5p_5 - 4p_4 - 3p_3 - 2p_2 - p_1;$$

Бізде тек V дәрежелі киниматикалык жұптар болғандықтан формула қысқарады:

$$W = 6n - 5p_5;$$

мұндағы n – қозғалатын звенолар саны,

p_5 – V дәрежелі киниматикалык жұптар саны.

$$W = 6 \cdot 10 - 5 \cdot 12 = 0;$$

Біз механизмді Ассур топтарына бөлеміз: механизім VII классты 1 ғана Ассур тобынан түрады.

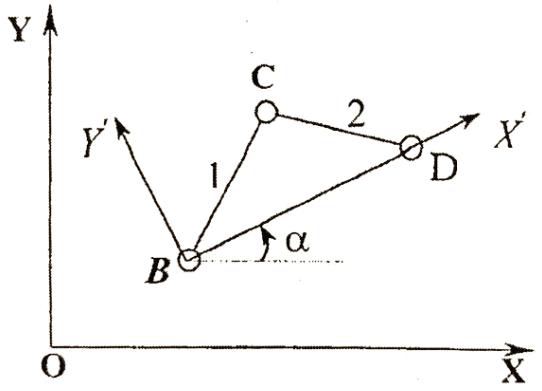
Механизмнің құрылымдық формуласы: I(0-1)-VII(1-14)

Жалпы алғанда, механизм VII класс механизмі болып табылады.

Кинематикалық сұлбаны құру

Диад ААА (Сурет 1.4). Кинематикалық талдау кезінде сыртқы ілмектердің B,D координаталары және 1 және 2 звенолардың l_{BC} және l_{CD} сызықтары қойылады, C топсасының координаталарын анықтау қажет. OXY қозғалмайтын координаталар жүйесіндегі B және D сыртқы топсаларының арасындағы қашықтық мынадан анықталады:

$$l_{BD} = \sqrt{(x_B - x_D)^2} + (y_B - y_D)^2 \qquad (1.1)$$



1.4-сурет

Диадамен байланысты қозғалатын $BX'Y'$ координаталар жүйесін таңдаймыз.Абцисса осі B және D топсалары арқылы өтетін түзудің бойымен бағытталады, ал координаталар басы B нүктесінде таңдалады, сонда:

$$x'_B = y'_B = y'_D = 0, \qquad x'_D = l_{BD}.$$

$BX'Y'$ жылжымалы координаталар жүйесіндегі BCD үшбұрышының ауданын анықтаңыз:

$$S_{BCD} = \frac{l_{BD} y'_C}{2} \tag{1.2}$$

Екінші жағынан, Герон формуласы бойынша бізде бар:

$$S_{BCD} = \frac{1}{4}\sqrt{(l_{BC} + l_{CD} + l_{BD})(-l_{BC} + l_{CD} + l_{BD})(l_{BC} - l_{CD} + l_{BD})(l_{BC} + l_{CD} - l_{BD})}. \tag{1.3}$$

(2)-ден (3) ескере отырып, анықтаймыз:

$$y'_C = \aleph \frac{R_{BCD}}{2l_{BD}}, \tag{1.4}$$

Мұндағы $R_{BCD} = 4S_{BCD}, \aleph = \pm 1$. Мұндағы $\aleph$ белгілері үшбұрыштың бағдарын анықтайды (диаданың жиналуы). x'_C координаталары мынадан анықталады:

$$x'_C = \sqrt{l_{BC}^2 - y_C^2} = \frac{l_{BC}^2 + l_{BD}^2 - l_{CD}^2}{2l_{BD}}. \tag{1.5}$$

OXY тіркелген координаталар жүйесіндегі C топсасының координаталары мынадан анықталады:

$$\begin{cases} x_C = x_B + x'_C \cos\alpha - y'_C \sin\alpha, \\ y_C = y_B + x'_C \sin\alpha + y'_C \cos\alpha, \end{cases} \tag{1.6}$$

Бұл жерде

$$\sin\alpha = \frac{y_D - y_B}{l_{BD}}, \quad \cos\alpha = \frac{x_D - x_B}{l_{BD}}. \tag{1.7}$$

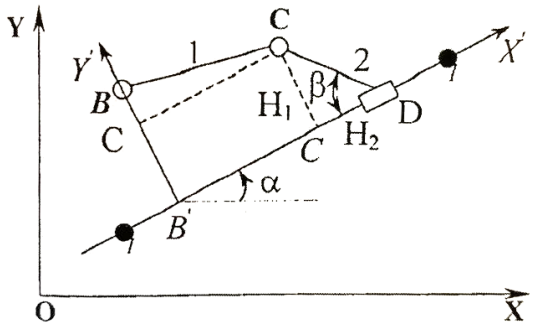
(1.4), (1.5) және (1.7) (1.6) орнына ауыстырамыз және түрлендірулерден кейін аламыз:

$$\begin{cases} x_C = \frac{1}{2l_{BD}^2}[l_{BD}^2(x_B + x_D) - (l_{BC}^2 - l_{CD}^2)(x_B - x_D) + \aleph S_{BCD}(y_B - y_D)]. \\ y_C = \frac{1}{2l_{BD}^2}[l_{BD}^2(y_B + y_D) - (l_{BC}^2 - l_{CD}^2)(y_B - y_D) - \aleph R_{BCD}(x_B - x_D)]. \end{cases} \tag{1.8}$$

(1.8) өрнекте, егер BCD контуры сағат тілімен айналып өтсе, онда $\aleph = +1$, егер $-\aleph = -1$ қарсы болады.

AAA диадасы $l_{BD} = 0$ және $R_{BCD} = 0$ үшін екі жағдайда ерекше позицияға түсуі мүмкін. Бірінші жағдай тек $l_{BC} = l_{CD}, x_B = x_D$ және $y_D =$ үшін мүмкін. Бұл жағдайда (1/8) теңдеулердің шешімі жоқ, ал диада қосымша бақыланбайтын қозғалғыштық дәрежесіне ие болады. Екінші жағдайда екі түрлі шешім (8) сәйкес келеді, ал 1 және 2 буындар бір түзу сызықта болады, яғни диад «өлі» күйге түседі.

2. AAC диадасы (1.5-сурет). Мұнда B топсасының координаталары белгілі D сырғытпасының I-I бағыттауышымен сәйкес келетін түзудің $y=ax+b$ теңдеуі 1 және 2 буындардың l_{BC}, l_{CD} ұзындықтары, сонымен қатар β бұрышы. Гарнир C координаталарын анықтау керек.



1.5-сурет

H1, H2 қашықтықтары сәйкесінше тең.

$$H_1 = l_{CD} \sin\beta \,, H_2 = l_{CD} \cos\beta. \tag{1.9}$$

B нүктесінен I-I түзуіне BB перпендикулярын түсірейік.

l_{BB} арақашықтық анықталады:

$$l_{BB} = \frac{ax_B - y_B + b}{\sqrt{a^2+1}} \tag{1.10}$$

Өрнек белгісі (10) B топсасының I-I бағыттаушыға қатысты орнын анықтайды. BB және I-I түзулерінің қиылысу нүктесінің координаталары бастап анықталады:

$$\begin{cases} \dfrac{ax_B + ay_B - ab}{a^2+1} \\ y_B = \dfrac{ax_B + a^2 y_B + b}{a^2+1} \end{cases} \tag{1.11}$$

Қарастырылған диадамен байланысты қозғалатын BXY координаталар жүйесінің басы B нүктесінде орналасады, ал абсцисса осі D сырғытпасының I-I

бағыттауышы бойымен бағытталады. Таңдалған қозғалмалы координаталар жүйесіндегі топсаның C және сырғытпасының D координаталарын анықтайық.

$$\begin{cases} x'_C = \aleph\sqrt{l_{BC}^2 - (l_{BB'}^2 - \aleph_1 H_1)^2} \\ y'_C = \aleph_1 H_1 \end{cases} \tag{1.12}$$

$$\begin{cases} x'_D = x'_C + \aleph_2 H_2 \\ y'_D = 0 \end{cases} \tag{1.13}$$

Қозғалмайтын координаталар жүйесіндегі C топсасының және D сырғытпасының координаталары өрнектерден анықталады.:

$$\begin{cases} x_C = x_{B'} + x'_C \cos\alpha - y'_C \sin\alpha, \\ y_C = y_{B'} + x'_C \sin\alpha + y'_C \cos\alpha, \end{cases} \tag{1.14}$$

$$\begin{cases} x_D = x_{B'} + x'_D \cos\alpha - y'_D \sin\alpha, \\ y_D = y_{B'} + x'_D \sin\alpha + y'_D \cos\alpha, \end{cases} \tag{1.15}$$

Бұнда

$$\cos\alpha = \frac{1}{\sqrt{a^2+1}}, \quad \sin\alpha = \frac{a}{\sqrt{a^2+1}} \tag{1.16}$$

(1.10−1.13) және (1.16) ескере отырып, (1.14) және (1.15) өрнектерді түрге келтіреміз:

$$\begin{cases} x_C = \frac{1}{\sqrt{a^2+1}}\left[\frac{ay_B+x_B-ab}{\sqrt{a^2+1}} + \aleph\sqrt{l_{BC}^2 - \left(\frac{ax_B-y_B+b}{\sqrt{a^2+1}} - \aleph_1 H_1\right)^2} + \aleph_1 H_1 a\right] \\ y_C = \frac{1}{\sqrt{a^2+1}}\left[\frac{a^2y_B+ax_B+b}{\sqrt{a^2+1}} + \aleph a\sqrt{l_{BC}^2 - \left(\frac{ax_B-y_B+b}{\sqrt{a^2+1}} - \aleph_1 H_1\right)^2} + \aleph_1 H_1\right] \end{cases} \tag{.17}$$

$$\begin{cases} x_D = \frac{1}{\sqrt{a^2+1}}\left[\frac{ay_B+x_B-ab}{\sqrt{a^2+1}} + \aleph\sqrt{l_{BC}^2 - \left(\frac{ax_B-y_B+b}{\sqrt{a^2+1}} - \aleph_1 H_1\right)^2} + \aleph_2 H_2\right] \\ y_D = \frac{1}{\sqrt{a^2+1}}\left[\frac{a^2y_B+ax_B+b}{\sqrt{a^2+1}} + a\left(\aleph\sqrt{l_{BC}^2 - \left(\frac{ax_B-y_B+b}{\sqrt{a^2+1}} - \aleph_1 H_1\right)^2}\right) + \aleph_2 H_2\right] \end{cases} \tag{1.18}$$

(1.17), (1.18) $\aleph_1 = \pm 1, \aleph_2 = \pm 1$ өрнектерінде және алдыңғы жағдайдағыдай $\aleph$ белгілері қарастырылатын диадтың әртүрлі жинақтарын анықтайды, ал $\aleph_1$ және $\aleph_2$ алдында диадтың жобалық параметрлерін анықтайды. Диада $l_{BC} = l_{BB'} - \aleph_1 H_1$ болғанда ерекше позицияға түседі, яғни. l_{BC} сілтемесі I-I бағыттаушыға перпендикуляр болғанда.

2 Сырықты жүйелерді шекті элементтер әдісімен зерттеу

2.1 Сырықтық жүйелер үшін шекті-элементтік әдістің негізгі тәуелділіктері

Ресейде, сонымен қатар, шетелде құрылыс механикасының есептерін шешудің ең көп тараған сандық әдістерінің ішінде жетекші орынды шекті элементтер әдісі (ШЭӘ) алады. Ол кең қолданылуымен, конструкция геометриясына және материалдардың физикалық сипаттамаларына қатысты инварианттылығымен, конструкциялардың қоршаған ортамен өзара әсерін (механикалық, температуралық, коррозиялық әсер етулер, шекті шарттар және т.б.) есепке алуда салыстырмалы түрде оңайлығымен, есептеудің барлық кезеңдерінде жоғары дәрежелі автоматтандыруға бейімделуімен ерекшеленеді.

Конструкцияны есептеу үшін алдымен бұл конструкцияны компьютер түсінерлік жеңіл түрде көрсету керек. Ал компьютер тек цифрлармен ғана операция жасайтындықтан есептелетін конструкцияны абсолютті түрде бір мәнде көрсететін және тек қана сандардан тұратын модельді құру керек. Басқаша айтқанда, біз конструкцияның сандық моделін құруымыз керек, одан кейін оның есептеуін жүргізуіміз керек.

Бұл мәселені шекті элементтер әдісі қалай шешетінін қарастырамыз, содан кейін бізге бұл әдістің қаншалықты алгоритмді екені және ол неге инженерлік есептерді, соның ішінде құрылыс конструкцияларын сандық түрде шешу мәселесінде басты орын алғаны түсінікті болады.

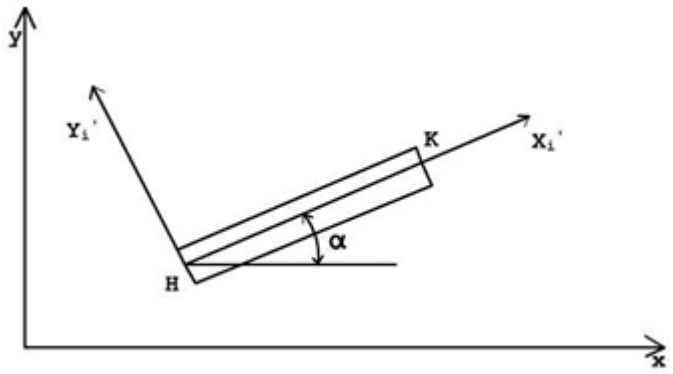
Сырық жүйесінде шекті элемент бір сырық болғандықтан, бір сырықтың сандық моделі не екенін түсіну керек, содан кейін барлық конструкцияны белгілі бір түрде (қандай түрде екенін кейін түсінеміз) синтездеу керек.

Шекті элементтер әдісінде жазық қатаң сырықтың сандық моделі өлшемі 6х6 болатын матрица болып табылады, бұл матрица жергілікті координаталар жүйесіндегі *сырық қатаңдығының матрицасы* деп аталады және схемалық түрде Ri` деп белгіленеді. Осы матрица туралы толығырақ келесі параграфта айтылады, біз тек бұл матрица жазық сырықты конструкцияның кез келген сырығы үшін (шекті элемент) өлшемі мен формасына тәуелсіз тұрақты екенін айтамыз. Осы матрицаның элементтеріне кіретін алгебралық формулалар ескеріледі. Әрбір сырық үшін сандық мәндер осы сырықтың геометриялық формулаларына және физикалық сипаттамаларына алмастырғаннан кейін әртүрлі болуы мүмкін. Бірақ матрицаның әрбір элементінің бірдей алгебралық формасы бағдарламаның қиын емес блогын бір рет құруға мүмкіндік береді, бұл блок бір сырықтың математикалық моделін ұсынатын матрицаның сандық мәнін құрастыруға мүмкіндік береді

2.2 Локальды координат жүйесіндегі сырықтың қатаңдық матрицасы

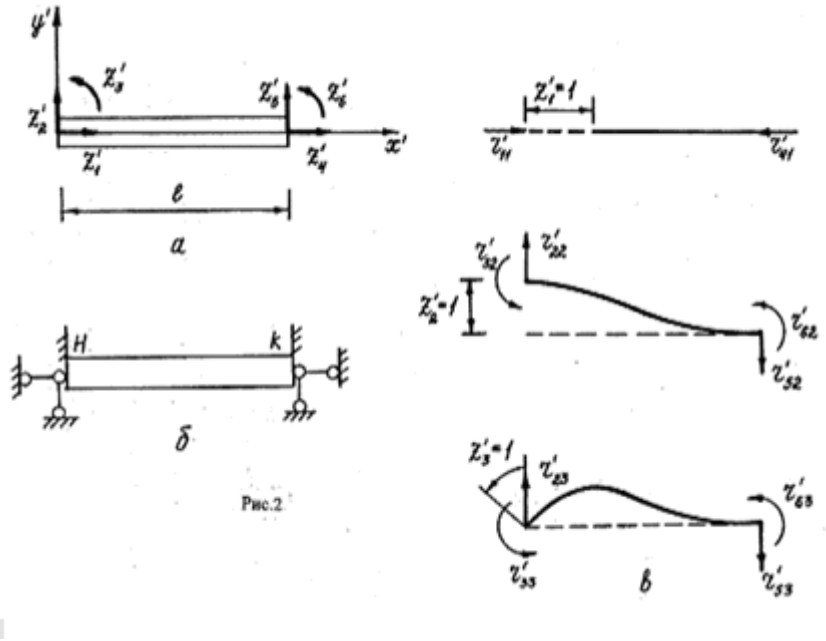
Конструкциядағы әрбір сырықтың өзінің бағыты болады. Сондықтан есептеу кезінде координат жүйелеріндегі барлық конструкциялар үшін жергілікті

немесе локальдік (сырықтың осімен байланысты) және жалпы координат жүйесі ұғымдары енгізіледі. Жалпы координата жүйесін глобальді деп те атауға болады. 2.1-суретте x'_i - y'_i - жергілікті, ал x - y – жалпы координат жүйесі. Шекті элементтің бастапқы түйіні «н» арқылы, шеткі түйін «к» арқылы белгіленген.



2.1–сурет — Шекті сырықтық элемент

2.2-суретте жергілікті координат жүйесінде оның осімен байланысты шекті элемент бейнеленген, сонымен қатар осы координат жүйесіндегі Zi =(Z_1' Z_2' …Z_6')^T векторының компоненттері болып табылатын Z_1', Z_2', …, Z_6'түйін орын ауыстыруларының бағыттары белгіленген.



2.2-сурет — Шекті элементтің жергілікті координат жүйесіндегі Z_1', Z_2', …, Z_6', түйіндік орын ауыстыру бағыттары

R_i'матрицасының әр коэффиценті белгілі бір физикалық мағынаға ие. R_i'матрицасының r'_{ij} еркін элементі j бағыты бойынша бірлік ығысудың түйін нүктесіндегі і-ші құраушы реакцияға сандық түрде тең. 2.2б-суретте реакцияны анықтау кезінде шекті элементтің соңғы қимасындағы байланыстар көрсетілген, ал 2, в-суретте бірлік орын ауыстырудағы байланыстардан пайда болған реакциялар көрсетілген. Жалпы түрде R_i' матрицасын былай көрсетуге болады:

$$\acute{R}_i=\begin{bmatrix} r'_{11} & \cdots & r'_{16} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ r'_{16} & \cdots & r'_{66} \end{bmatrix} \tag{2.1}$$

Бірінші бағандағы матрица элементтері (1) - Z_1' = 1 ығысуларынан басталған сырықтың шетіндегі реакциялар (2, в-суретті қараңыз). Екінші және үшінші бағандарда – сол суретте көрсетілген Z_2' =1 және Z_3' =1 ығысуларынан басталған реакциялар. Соңғы үш бағанның элементтері сырықтың оң шетінің ығысуларымен анықталады. Мысалы, r_{52}' сырықтың басындағы y/ осі бойынша бірлік ығысудан сырықтың соңындағы y' осі бойынша бірлік ығысуға дейінгі реакция. Қимасы тұрақты сырық реакцияларының сандық мәндері құрылыс механикасы туралы кітаптарда келтірілген [1, 2].

Белгілердің келесі ережелері бекітіледі: оң реакция сәйкес орын ауыстырудың оң бағытымен сәйкес келеді немесе керісінше.

Осы түрде алынған матрица мынадай түрге ие болады:

$$R_i'=\begin{bmatrix} EF/L & 0 & 0 & -EF/L & 0 & 0 \\ 0 & 12EI/L^3 & 6EI/L^2 & 0 & -12EI/L^3 & 6EI/L^2 \\ 0 & 6EI/L^2 & 4EI/L & 0 & -6EI/L^2 & 2EI/L \\ -EF/L & 0 & 0 & EF/L & 0 & 0 \\ 0 & -12EI/L^3 & -6EI/L^2 & 0 & 12EI/L^3 & -6EI/L^2 \\ 0 & 6EI/L^2 & 2EI/L & 0 & -6EI/L^2 & 4EI/L \end{bmatrix} \tag{2.2}$$

мұндағы E – материал серпімділігінің модулі;

F және J – қимасы айнымалы сырықтың ауданы және инерция моменті;

(2.2) матрицадағы шекті элементтің ұзындығы L мына формула бойынша есептеледі:

$$L = \sqrt{(X_K - X_H)^2 + (Y_K - Y_H)^2} \tag{2.3}$$

мұндағы $x_н$, $y_н$ және $x_к$, $y_к$ – шекті элементтің бастапқы және шеткі түйіндеріндегі координаталар.

(2) матрицаны 3х3 өлшемді төрт блокқа бөліп, қысқартылған түрде жазуға болады:

$$R_i^{'} = \begin{bmatrix} R_{HH}^{'} & R_{HX}^{'} \\ R_{KH}^{'} & R_{KK}^{'} \end{bmatrix} \tag{2.4}$$

(2.4) матрицадағы әр блок сырықтың басында және соңында пайда болған, сәйкесінше "н" және "к" әріптерімен белгіленген реакциялар матрицасын көрсетеді. Индекстің екінші әрпі осы реакциялардың бастапқы немесе шеткі байланыстардың қайсысының ығысуынан туындағанын көрсетеді. Мысалы, $R'_{кн}$ – сырық басындағы байланыстардан сырықтың шетіндегі байланысқа дейінгі ығысу реакциясының блогы.

Жоғарыда айтылғандарды қорытындылаймыз. Бізде бір сырықтың (шекті элементтің) жергілікті немесе локальді координаталар жүйесіндегі, яғни X осі нақты сырықтың бойында, ал Y осі перпендикулярлы бағытталған жүйедегі математикалық моделі бар. Бұл модель 6х6 өлшемді квадраттық матрица формасына ие, схемалық түрде R_i'-мен белгіленеді, мұндағы і индексі і нөмірлі сырықтың қатаңдық матрицасын, ал жоғарғы жағындағы штрих белгісі координат жүйесінің жергілікті (локальді) болып есептелетінін білдіреді. Матрицаның өзі 5-бетте көрсетілген.

2.3 Сырықтың жалпы координат жүйесіндегі қатаңдық матрицасы

Конструкциядағы сырықтар еркін түрде орналасуы мүмкін болғандықтан, жергілікті координат жүйесінде құрылған Ri` қатаңдық матрицасынан жалпы координат жүйесінде анықталған R_i қатаңдық матрицасына ауысу қажеттілігі туады. Түрлендіруді келесі формула бойынша шығаруға болады:

$$R_i = V^T R_i^{'} V \tag{2.5}$$

(2.5) формулада V матрицасы бір ортогональді координат жүйесінен басқа координат жүйесіне ауысу матрицасын көрсетеді.

Біздің есепті шешу кезінде әрі қарай бөлек сырық үшін орын ауыстыру векторын жалпы координат жүйесінен жергілікті координат жүйесіне түрлендіру мәселесі туады, бұл келесі формула бойынша шығарылады:

$$\acute{Z}_i = VZ_i. \tag{2.6}$$

(2.5) және (2.6) формулаларына кіретін және екі түрлендіруді шығаруға мүмкіндік беретін V матрицасы мына түрге ие:

$$R_i' = \begin{bmatrix} \cos a & \sin a & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\sin a & \cos a & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cos a & \sin a & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\sin a & \cos a & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (2.7)$$

(2.7) матрицадағы α бұрышы – жалпы координат жүйесіндегі x осінде қарастырылып жатқан сырықтың көлбеу бұрышы (2.1-суретті қараңыз).

$\sin\alpha$ және cos a мәндері шекті элемент түйіндерінің координаталары арқылы келесі формулалар бойынша есептеледі:

$$\sin a = \frac{Y_K - Y_H}{\sqrt{(X_K - X_H)^2 + (Y_K - Y_H)^2}},$$

$$\cos a = \frac{X_K - X_H}{\sqrt{(X_K - X_H)^2 + (Y_K - Y_H)^2}}, \quad (2.8)$$

V матрицасын блокты формада жазуға болады:

$$V = \begin{bmatrix} C & 0 \\ 0 & C \end{bmatrix} \qquad C = \begin{bmatrix} \cos a & \sin a & 0 \\ -\sin a & \cos a & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.9)$$

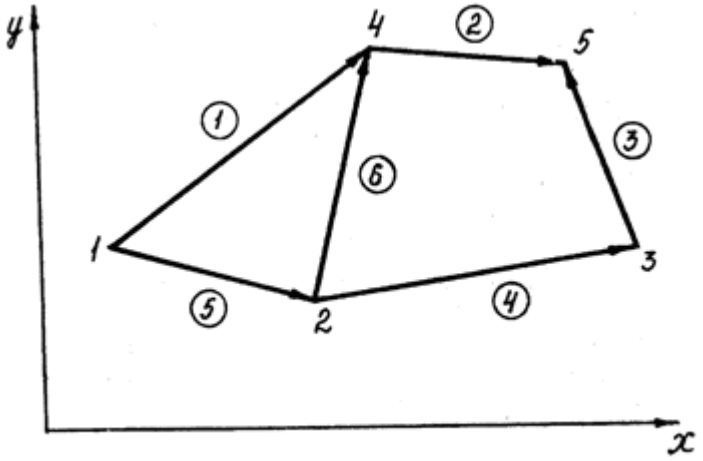
Қорытындылаймыз: біз жалпы координата жүйесіндегі еркін жазық сырық конструкциясының бір (кез келген) сырығының математикалық моделін алдық. Ол 6x6 өлшемді матрицаны көрсетеді және схемалық түрде R_i-мен белгіленеді, оны матрицалық операция (4) нәтижесінде алуға болады. Енді біз ең қызығына тоқтадық. Геометриялық өлшемдерді және нақты конструкцияның конфигурациясын бір мәнде анықтайтын барлық конструкцияның математикалық моделін қандай жолмен алуға болады? Мұндай модель барлық конструкцияның қатаңдық матрицасы болып табылады және схемалық түрде R деп белгіленеді.

2.4 Құрылғының қатаңдық матрицасын құру

R қатаңдығының жалпы матрицасы бөлек сырықтардың қатаңдық матрицасының сәйкес элементтерін жинақтау жолымен алынуы мүмкін. R матрицасының өлшемі – *3nx3n*, мұндағы *n* – конструкциядағы түйіндер саны.

Бірнеше еркін сырық жүйесін қарастырамыз. Оның бес түйіні және алты сырығы болсын делік (2.3-сурет). Әрбір сырық үшін жалпы координата жүйесіндегі алтыншы ретті қатаңдық матрицасы құрылды деп есептейміз. Оны блокты формада жазамыз:

$$R_i=\begin{bmatrix} R_{HH} & R_{HK} \\ R_{KH} & R_{KK} \end{bmatrix} \tag{2.10}$$



2.3-сурет — Еркін (кез келген) сырықтық жүйе

Барлық конструкция құрамындағы сырықты қарастыра отырып, «н» және «к» индекстеріне сырық басындағы және шетіндегі түйіндердің нақты нөмірлерін сәйкес келтіруге болады. Шамасы кіші түйін нөмірін сырықтың басы деп, ал шамасы үлкен түйін нөмірін сырықтың шеті деп есептейміз.

Ендігі есепте Ri’ матрицасының блогынан әрбір сырық үшін барлық конструкцияның R қатаңдық матрицасын (біздің жағдайда өлшемі 15x15 болатын) құрамыз.

Әрбір түйінмен үш орын ауыстыру байланысты болғандықтан, барлық R матрицасын блок өлшемі 3x3 болатын блокты формада көрсеткен ыңғайлы. Біздің жағдайда мұндай матрицаның өлшемділігі 5x5 болады.

Көрнекілік үшін барлық конструкцияның қатаңдық матрицасын қорытынды матрица R сияқты реті болатын бөлек матрицаларды жинақтау жолымен құруға болады деп есептейміз; қорытынды матрицада R бір сырыққа сәйкес келетін элементтер ғана болады, ал қалған элементтері нөл болады. Әрине, мұны бағдарламада жасау орынсыз, өйткені жадының көп мөлшері шығындалады. R матрицасын бір сырықтың R_i қатаңдық матрицасының сәйкес блоктарын R матрицадағы сәйкес орынға жинақтаумен жіберу жолымен құрады. Бірақ, көрнекілік үшін толық көлемді матрицаны блокты түрде жаза отырып, келесіде де құрамыз.

Барлық сырықтарды біртіндеп біріншісінен соңғысына дейін қарастырамыз. Сырық нөмірлері 2.3-суретте дөңгелектегі цифрлармен белгіленген.

1 және 2-сырық үшін барлық конструкцияның қатаңдық матрицасының элементтері болып табылатын қатаңдық матрицаларын құрамыз.

1-сырық. Сырықтың басы 1-түйінде, соңы 4-түйінде. Осы түрде «н» индексіне 1-түйін, ал “к” индексіне 4-түйін сәйкес келеді.

Бірінші сырықты қарастыру нәтижесінде алынатын барлық конструкцияның R қатаңдық матрицасының қосындысы мына түрге ие:

$$\Delta R^1 = \begin{bmatrix} R'_{11} & 0 & 0 & R'_{14} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ R'_{41} & 0 & 0 & R'_{44} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \tag{2.11}$$

2-сырық. Басы – 4-түйінде, соңы – 5-түйінде.

$$\Delta R^2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & R^2_{44} & R^2_{45} \\ 0 & 0 & 0 & R^2_{54} & R^2_{55} \end{bmatrix} \tag{2.12}$$

1 және 2 жоғарғы индекстері сәйкес блоктардың 1 және 2-сырықтар үшін құрылған қатаңдық матрицасынан алынғанын көрсетеді.

Дәл осы түрде 3.. .6-сырықтардың өңделуі орындалады.

R'-дің барлық алынған құраушыларын жинақтап, барлық конструкцияның жалпы қатаңдық матрицасын аламыз.

Алайда көрсетілген әдіспен құрылған *R* матрицасы тірек бекітулерінсіз алынған. Мұндай матрица «ауада ілініп тұрған» және орын ауыстырулардан қатаң зат сияқты бекітілмеген конструкцияға сәйкес келеді. Бұл конструкция ерекше болып табылады, яғни кері матрицасы болмайды. Тіректі байланыстарды ескеруге мүмкіндік беретін қиын емес әдіс бар. Соны қарастырамыз.

Бекітілген байланыстардың бағыты бойынша орын ауыстырулар нөлге тең. *Z* векторының бірнеше j-ші орындағы нөлдік шешімін алу үшін «сызу әдісін» қолданады. Бұл әдіс R матрицасындағы j-бағанды және j-ші қатарды, сонымен қатар j-ші теңдеудегі бос мүшені нөлге келтіреді. r_{jj} диагональді элементтің орнына бірнеше санды, мысалы, бірлікті жібереді. Бұл операция R матрицасының ретін өзгертпейді және берілген орын басулардың нөл мәнін береді.

Қорытындылаймыз. біз барлық конструкцияның бір мәнде геометриялық форманы, өлшемдерді, бөлек элементтердің қандай материалдан тұратынын және конструкцияның жермен қалай байланысқанын анықтайтын сандық моделін алдық. Енді бізге конструкцияға әсер ететін күшті беру керек. Күштер конструкцияға 3xn өлшемді (мұндағы n – конструкция түйіндерінің саны) күш векторымен беріледі. Күш векторы туралы келесі параграфта толығырақ айтылады.

2.5 Жүктеу векторын құру

Күш векторын құру алгортимнің ең оңай кезеңдерінің бірі болып табылады. P векторының өлшемі $3N$ Оны блокты түрде қарастырамыз. Әр түйінге үш элементтен тұратын блок сәйкес келеді:

- x осі бойындағы i-ші түйін күшінің құраушысы;
- y осі бойындағы i-ші түйін күшінің құраушысы;
- i-ші күшке әсер ететін момент.

2.6 Шекті-элементтік әдістің теңдеулер жүйесін шешу

Сырық жүйесіндегі күштерден белгісіз түйін орын ауыстыруларын табу үшін алгебралық теңдеулер жүйесін шешу керек, мұнда белгісіздердегі коэффицент барлық конструкцияның R қатаңдық матрицасының элементтері, ал оң жақ бөлігінің векторы P күшінің векторы болып табылады:

$$RZ = P \tag{2.13}$$

(2.13) теңдеулер жүйесін кез келген әдіспен шешуге болады. Әдетте бұл мақсат үшін Гаусс әдісі пайдаланылады. Бағдарлама студент жасаған немесе стандартты ішкі бағдарламалармен қолданылуы мүмкін.

(2.13) теңдеулер жүйесін шешу нәтижесінде жалпы координат жүйесіндегі Z орын ауыстыру векторын аламыз, вектордың өлшемі P векторына сәйкес келеді және 3n-ге тең.

Қорытынды шығарамыз: алгебралық теңдеулер жүйесін шешкеннен кейін біз $3 \times n$ өлшемді Z векторын алдық, бұл вектор элементтерінің физикалық мағынасы – сырық жүйесінің түйіндеріндегі белгісіз орын ауыстырулар. Үш саннан тұратын бірінші блок бірінші түйіндегі үш бағыт бойынша орын ауыстыруларды көрсетеді, екінші блок екінші түйіндегі орын ауыстыруларды көрсетеді және т.б. Бұған қоса алынған орын ауыстырулар глобальді координат жүйесінде көрсетілген. Біздің алгоритмнің бірінші жартысында біз бөлек элементтерден тұратын конструкцияның синтезін жасадық. Енді, есептің соңғы шешімі болып әр сырықтағы күштер табылғандықтан, біз тағы да бір сырықты (шекті элементті) қарастыруға көшуіміз керек, яғни анализ жасауымыз керек. Бұл туралы толығырақ келесі параграфта айтылады.

2.7 Сырықтағы ішкі күштерді есептеу

Шекті элементтегі күштерді есептеу үшін Z_i орын ауыстыру векторын құру керек. Оның өлшемі алтыға тең, құраушылары соңғы қиманың орын ауыстырулары болып табылады. Z_i векторы құрастырылатын сырықтың басындағы және шетіндегі түйіндердің нөміріне сәйкес келетін барлық конструкция элементтері үшін Z векторынан іріктеу жолымен құрылады.

Жергілікті координат жүйесіндегі шеткі күш векторын алу үшін Z_i векторын жалпы координат жүйесінен жергілікті координат жүйесіне (5) формула бойынша түрлендіру керек.

Шекті элементтің R_i қатаңдық матрицасының көмегімен әр сырық үшін жалпы координат жүйесіндегі шеткі күштер (реакциялар) векторын анықтаймыз:

$$r_i = R_i Z_i \tag{2.14}$$

(2.14) формуланың физикалық мағынасын түсіну оңай. Негізінде, Ri' матрицасы қатарының элементтері сырықтың шетінде барлық бірлік орын ауыстырулардан басталатын сәйкес бағыттар бойынша реакцияларды көрсетеді. Бірлік реакцияны сәйкес нақты орын ауыстыруға элемент бойынша көбейтіп және алынған қосындыларды жинақтап (матрицаны векторға көбейту ережесіне сәйкес) берілген бағыт бойынша күштің соңғы мәнін аламыз. ri' векторының компоненттері болып бойлық күш, көлденең күш және сәйкес орын ауыстырулардың бағыты бойынша әрекет ететін сырықтың бастапқы және шеткі түйіндерінің иілу моменті табылады.

Бұрын біз келесі таңбалар ережесін қабылдадық: шеткі оң күш сәйкес орын ауыстырудың оң бағытында бағытталған. Бұл кезде құрылыс механикасында ерекше таңбалар ережесі қабылданды. Мысалы, сырықтың бастапқы және шеткі қимасындағы көлденең күш жоғарыға бағытталса, онда есепті шешу нәтижесінде ол екі жағдайда да оң болады. Бұл кезде құрылыс меаникасында қабылданған таңбалар ережесіне сәйкес шеткі қимадағы жоғарыға бағытталған күш теріс болып есептеледі. Алынған шешім таңбасын қандай жағдайда өзгерту керек екенін көрсететін схеманы (2.4-сурет) келтіреміз.

Келтірілген схеманы талдай отырып, келесідей қорытынды жасауға болады: алынған шешім таңбаларын құрылыс механикасының ережелеріне сәйкес келтіру үшін ізделетін $r_{i'}$ векторының бірінші, үшінші және бесінші элементтеріндегі таңбаларды қарама-қарсы таңбаларға өзгерту жеткілікті.

Жоғарыда айтылғандарға қорытынды жасай отырып, жазық сырық конструкциясын шекті элементтер әдісімен есептеу үшін керек алгоритмдердің жүйелілігін құрамыз.

<u>Есептеу алгоритмі:</u>

1. R_i қатаңдық матрицасын жергілікті координат жүйесіндегі бірнеше *i*-ші сырық үшін құру.

2. R_i матрицасын жалпы координат жүйесіндегі і-ші сырықтың қатаңдық матрицасына түрлендіру.

3. Барлық конструкцияның *R* қатаңдық матрицасын құру (R_i матрицасын *R* қатаңдық матрицасымен элемент бойынша жинақтау).

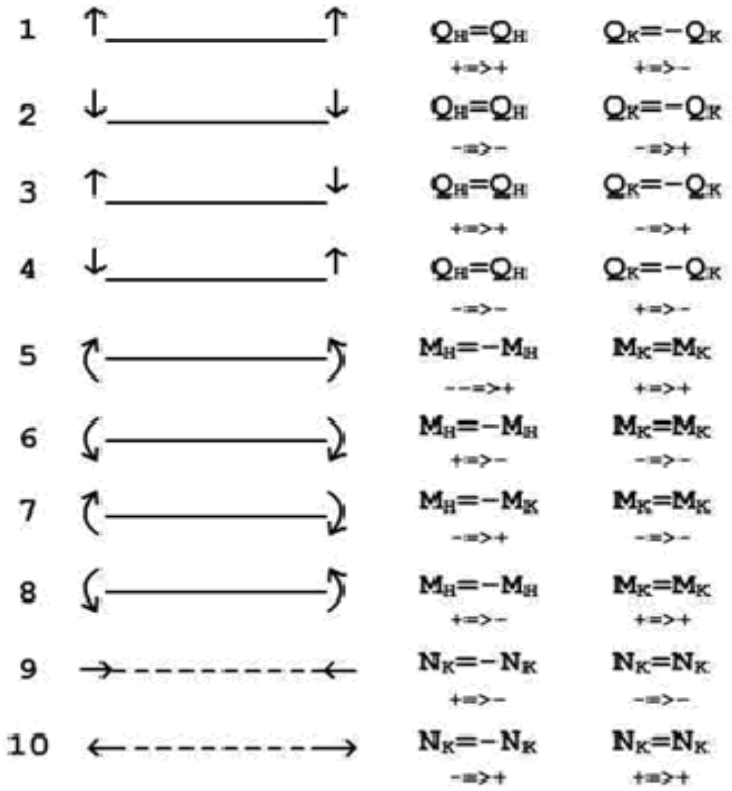
4. і-ші сырықтан *(i+1)*-ші сырыққа өту және барлық аталған операцияларды қайталау.

5. Шекті шарттарды есепке алу.

6. *P* түйіндік күш векторын құру.

7. $RZ = P$ теңдеулер жүйесін шешу.

8. Әр сырықтағы ішкі күштерді есептеу.



2.4 сурет — Шекті элементтің бастапқы және соңғы ұштарына әсер ететін көлденең күштер мен июші моменттер таңбалары

Енді, берілген алгоритмге сәйкес еркін жазық сырық конструкциясын есептеуге мүмкіндік беретін бағдарлама құрылады. Бағдарламалауға қатысты мәселелер бұл әдістемелік құралда қарастырылмайды. Жоғарыда аталған алгоритмге сәйкес есептеу жүргізу үшін негізгі ақпаратқа ғана тоқталамын.

2.8 Бастапқы мәліметтерді беру

Сырық жүйесін есептеу кезінде келесі бастапқы мәндер енгізіледі:

1. *Түйіндер туралы ақпарат* – түйін нөмірі, түйін түрі (тірексіз немесе өз кезегінде қатаң бекітілген, шарнирлі-жылжымайтын, x осінің бағытында шарнирлі-жылжымалы, y осінің бағытында шарнирлі-жылжымалы тіректі болуы мүмкін), түйіннің x және y координаталары.

2. *Элементтер туралы ақпарат* – шекті элемент нөмірі, оның бастапқы түйінінің нөмірі, элемент материалының серпімділік модулі, көлденең күштің ауданы, көлденең қиманың инерция моменті.

3. *Жүктелу туралы ақпарат* – күш түсірілген түйін нүктесінің номері, *x* осі бағытындағы күштің мәні, *y* осі бағытындағы күштің мәні, иілу моментінің мәні. Түйін күштерінің шамасы, егер олар сәйкес түйін орын ауыстыруларының оң бағытымен сәйкес келсе, оң болып қабылданады.

3 Иінтіректі механизмнің кернеулі-деформациялы күйін зерттеу

3.1 APM WinMachine жүйесі

Бүгінгі таңда жасалынып жатқан сан алуан жабдықтар мен қондырғылардың сапасын арттыру, яғни сенімділігі мен беріктілігін қамтамасыз етумен қатар, оларды жасаудағы шығындарды азайту басты мәселе болып табылады. Бұл өз кезегінде, жобалаушылар алдына екі қарама - қайшы тенденциясыны, яғни сапаны артырып, шығынды азайту арқылы мәселені шешуді басты талап етіп отыр.

Қойылған мәселені шешудің бірден бір жолы - ол сапалы әрі бәсекелестікке шыдамды қондырғылар мен құрылғыларды жобалап есептеуде инженерлік талдауға мүмкіндік беретін бағдарламаны пайдалану [11-14] .

Инженерлік талдауға зерттелінді қондырғы моделінің кернеулі - деформациялық күйі, динамикалық сипаттамасы, тұрақты немесе айнымалы күш факторы әсерінен орнықтылық жағдайларын зерттеу жатады.

Осы тектес есептерді шешудің тиімді әдісі - шекті элементтер әдісі екенін алдынғы бөлімде айтып өткен болатынбыз. Шекті элементтер әдісін қолдану арқылы механизм моделінің беріктік есептерін шешу үшін APM WinMachine автоматты жобалау жүйесі пайдаланылды [12-13]. Бұл жүйе машиналар мен қондырғыларды, сондай - ақ механизмдер мен құрылыс нысандарын орнықтылық пен беріктікке төзімділігін есептеуге және талдауға арналған.

3.2 APM WinMachine бағдарламасының негізгі сипаттамалары

APM WinMachine бағдарламасы инженерлік есептердің шешімдерін аспаптық қамтамасыз етумен ғана шектелмей, келесі есептеулерді жүзеге асырады:

- Энергеткиалық пен кинематикалық есептерді;
- беріктік пен қатаңдық, орнықтылық есептері;
- төзімділік
- беріктік ықтималдығы ен тозуға төзімділігі
- динамикалық сипаттамалар.

APM WinMachine автоматты жобасы бұл ғылыми сындарлы, математика және механикада қолданылатын сандық әдістер мен модель құрастырушылардың көптеген тәжірибесі мен инженерлік әдістеменің жобалау базасын қамтитын тиімді бағдарлама болып табылады. Қазіргі таңда,оның құрамына параметрлік графикалық редактор, ақпараттық және сызбалық деректер базасы, электрондық оқулық, кернеулі - деформациялық күйлерді зерттеу мүмкіндіктері енгізілген. Аталған мүмкіндіктердің барлығы барлық қажетті есептеулер кешенін жүзеге асырады әрі толық көлемде құрылымдық құжаттарды тағайындайды. Қажет болған жағдайда, экспорт және графикалық импорт пен есептік аппараттарды қолданады [13]. Бұл бағдарлама әлем бойынша бәсекелестікке ие әрі баға

жағынан тиімді және салмағы мен энергия талаптылығынан ұтымды бағдарлама болып табылады.

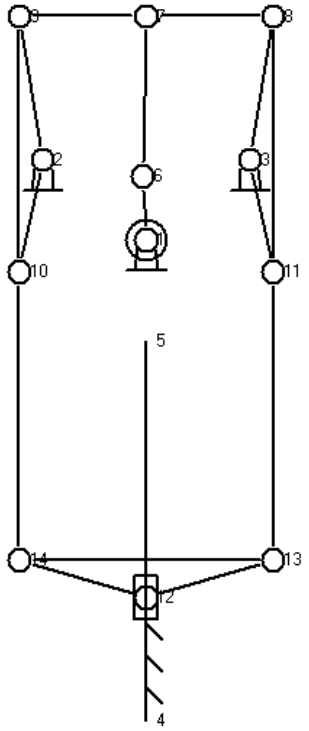
3.3 APM Dynamics модулінде механизімнің динамиқалық талдау жасау

Жалпы есептеу тәртібі

1. Механизмнің есептік моделін құру.
2. Бөлімдер мен материалды анықтау. Тіректерді орнату.
3. Сыртқы күш факторларын орнату.
4. Кинематикалық және динамикалық параметрлерге датчиктер орнату.
5. Датчиктерден ақпаратты көрсету үшін мониторларды құру.
6. Есептеуді орындау.
7. Есептеу нәтижелерін алу және сақтау.

Тапсырма

3.1- суретте көрсетілген механизімнің киниматикалық және динамикалық талдау жасау.



3.1-сурет — механизім сұлбасы

Барлық сырықтардың қимасы Бұрыш 20×3, материал Болат.
1 түйінінде қолданылған момент 10Н*м.
Қозғалу уақытты – 0.075 секунд.
Келесі кинематикалық және динамикалық параметрлердің графиктерін алу қажет:

1. Түйіндер арасындағы бұрыш 6-8-3
2. 3 түйініндегі момент.

Шешуі:

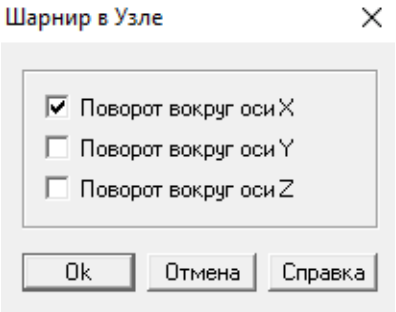
1. Механизмнің есептік моделінің құрылысы.

Өлшем бірлік тандау ол үшін **Вид/Единицы измерения** командасы арқылы «мм» тандаймыз.

Кез келген 4 терезенің қайсы ыңғайлы соны тандап аламыз. Ашылған терезеде **«Новый узел»** командасы арқылы берілген координаттар бойынша әр нүктелерді орнатып аламыз.

«Новый стержень» командасы арқылы нүктелерді қосып аламыз. Осы жұмыстардан кейн механизимнің геометриялық моделлін аламыз.

Түйіндерге топса береміз ол үшін **Рисование/Шарнир всем узлам** 3.2 сурет



3.2-сурет — «Шарнир всем узлам»

1. Бөлімдер мен материалды анықтау.

1.1 Сырықтарға материалды тағайындау. Материалды тағайындау үшін 1.8-тармаққа сәйкес қажетті сырықтарды таңдау керек, содан кейін **«Свойства»** құралдар тақтасындағы **«Материалы»** түймесін басу керек. Ашылған терезеде Болат тандайых және **«Задать всем»** комендасын басып **«ОК»** басамыз.

1.2 Сырық беру үшін **«Сечение всем»** командасын басып ашылған терезеде Бұрыш 20×3 мм тандап, **«ОК»** басамыз.

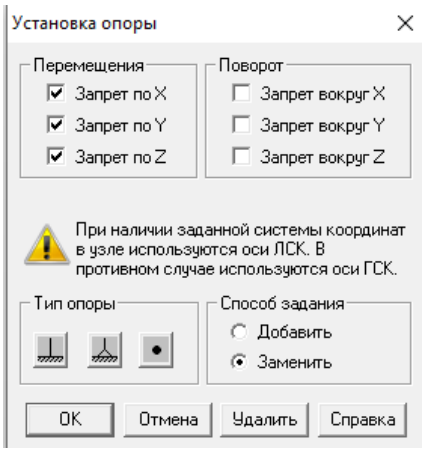
1.3 Топса беру. 1-2-3 түйіндеріне топса береміз. **«Выбор»** командасы арқылы түйіндер тандап аламыз және **«Опора»** 3.3-сурет нүктесін басып ашылған терезеде **«Шарнирная опора»** береміз.

2. Сыртқы күш факторларын тағайындау.

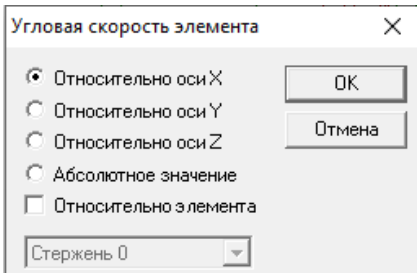
2.1 1-ші түйінде айналу моментін(10Н*м) орнату қажет. Момент тағайындау үшін **«Момент»** нүктесін басамыз, ашылған терезеде момент береміз.

3. Кинематикалық және динамикалық параметрлерге датчиктер орнату.

3.1 Бұрыштық жылдамдық датчигі. 1-6 сырық тандап **«Угловой скоростной датчик»** 3.4-сурет нүктесін басып ашылған терезеде «Относительно оси *X*» белгілейміз «ОК» басамыз.



3.3-сурет — «Опора»

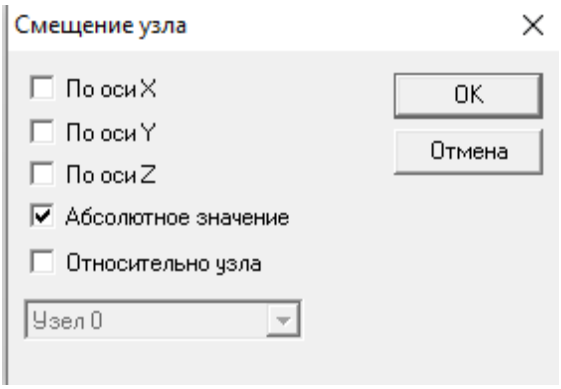


3.4-сурет — «Угловой скоростной датчик»

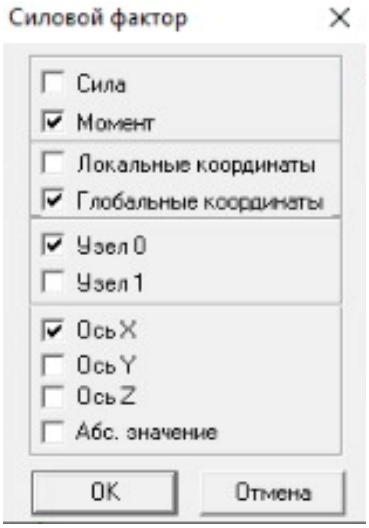
Түйіндер арасындағы бұрыш датчигі 6-8-3. Бұрыш датчигін орнату үшін 6-8-3 түйіндерін таңдаймыз, **«Датчик угла поворота»** басамыз. Осыдан кейін бұрыштар датчигі моделде көрсетіледі.

3.2 Абсолютті орын ауыстыру датчигі 13-ші түйінде. 13-ші түйінді таңдаймыз және **«Датсик смещения угла»** 3.5-сурет командасын басып ашылған панелде «Абсолютное значение» таңдаймыз «ОК» басамыз.

3.3 Түйінде момент анықтау. Түйіндік күш датчигін орнату үшін 3-8 сырықтарын таңдаймыз. «Датчик узловых усилий» 3.6-сурет нүктесін басамыз ашылған терезеде: Момент, Глобальные координаты, Узел 0, Ось *X* таңдаймыз.



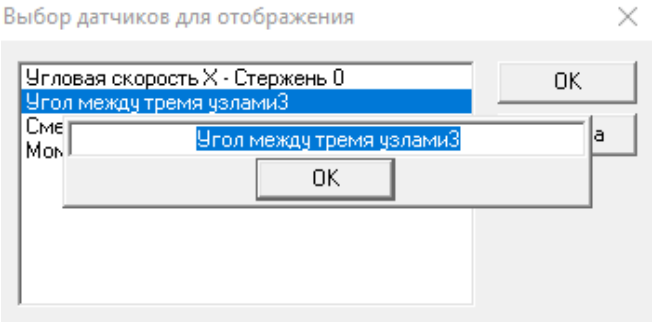
3.5-сурет — «Датсик смещения угла»



3.6-сурет — «Датчик узловых усилий»

4. Датчиктерден ақпаратты көрсету үшін мониторларды құру.

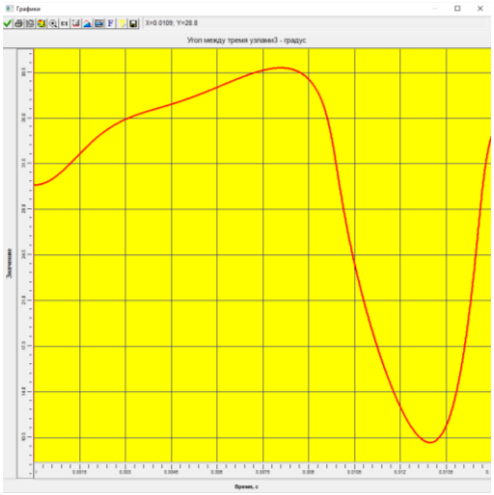
«Создать монитор графика» нүктесін басамыз «Угол между тремя узлами» 3.7-сурет тандаймыз «OK» басамыз.



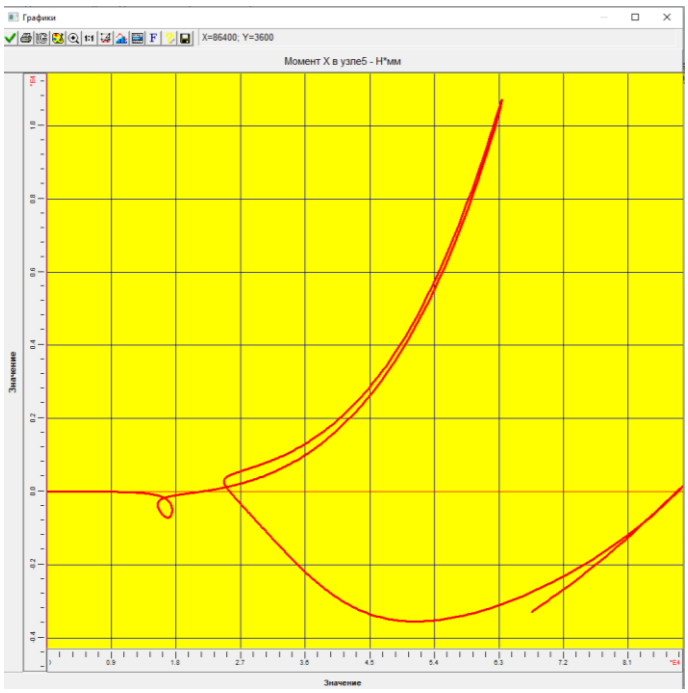
3.7-сурет — «Угол между тремя узлами»

5. Нәтижелері

APM Dynamics программасында алынған «6 – 8 – 3 түйіндер арасындағы бұрыш» 3.8-суретте көрсетілген. 3-ші түйініндегі момент 3.9-суретте көрсетілген.



3.8-сурет — 6 - 8 - 3 түйіндер арасындағы бұрыш»



3.9-сурет — 3-ші түйініндегі момент

3.4 Иінтіректі механизмнін кернеулі-деформациялы күйін APM Structure3D модулінде есептеу

Иінтіректі механизм негізінен сырықтық конструкциялар құрамына кіретіндіктен, оның моделін салу үшін APM Stracture 3D модулінде сырықты шекті элементтері бар құрылымдардың моделін жасау және есептеудің жалпы ретін келтіріп өтейік:

1. Есептің шартына, берілген бастапқы мәліметтерге байланысты өлшем бірліктерін ескере отырып, иінтіректі механизм звеноларының кесінділерден тұратын кескінін саламыз.
2. Салынған кескінге байланысу шарнирларын саламыз.
3. Иінтіректі механизимнің бекіту тіректерін береміз.
4. Механизімнің звеноларының материалын береміз.
5. Механизим звеноларының көлденен қимасын береміз.
6. Механизмнің түйіндеріне түсірілген сыртқы күштерді береміз.
7. Механизмнің төрт түрлі орналасу жағдайына байланысты кернеулі-деформациялық күйін қарастырып, беріктіке және орнықтылықа есептейміз.

1-4 кестеде иінтіректі престеу механизмінің төрт түрлі орналасу жағдайындағы түйіндерінің координаталары және буындарының ұзындықтары берілген.

1-кесте-Механизм орналасуының 1-жағдайы

Механизм туралы ақпарат			
X1=	0.00	Y1=	500.00

1-кестенің жалғасы

X2=	65.00	Y2=	550.00
X3=	-65.00	Y3=	550.00
X4=	0.00	Y4=	200.00
X5=	0.01	Y5=	436.65
X6=	0.00	Y6=	539.95
X7=	0.00	Y7	639.93
X8=	80.00	Y8=	640.00
X9=	-80.00	Y9=	640.00
X10=	-80.00	Y10=	480.00
X11=	80.00	Y11=	480.00
X12=	0.00	Y12=	298.00
X13=	80.00	Y13=	300.00
X14=	-80.00	Y14=	300.0
L4-5	236.65	L1-6	40.00
L6-7	100.00	L7-8	80.00
L3-8	91.24	L7-9	80.00
L2-9	91.24	L2-9	160.00
L2-10	71.59	L9-10	160.00
L3-11	71.59	L12-13	80.00
L11-13	180.00	L12-14	80.00
L10-14	180.00	L13-14	160.00

2-кесте-Механизм орналасуының 2-жағдайы

Механизім туралы ақпарат (2-жағдай)			
X1=	0.00	Y1=	500.00
X2=	65.00	Y2=	550.00
X3=	-65.00	Y3=	550.00
X4=	0.00	Y4=	200.00
X5=	0.01	Y5=	436.65
X6=	-40.0	Y6=	500.0
X7=	0	Y7	511.58
X8=	62.74	Y8=	641.21
X9=	-62.74	Y9=	641.21
X10=	-92.94	Y10=	484.09
X11=	92.94	Y11=	484.09
X12=	0.00	Y12=	280.35
X13=	80.00	Y13=	304.55
X14=	-80.00	Y14=	304.55
L4-5	236.65	L1-6	40.00
L3-8	91.24	L7-9	80.00
L2-9	91.24	L2-9	160.00

2-кестенің жалғасы

L2-10	71.59	L9-10	160.00
L3-11	71.59	L12-13	80.00
L11-13	180.00	L12-14	80.00
L10-14	180.00	L13-14	160.00

3-кесте-Механизм орналасуының 3-жағдайы

Механизім туралы ақпарат (3-жағдай)			
X1=	0.00	Y1=	500.00
X2=	65.00	Y2=	550.00
X3=	-65.00	Y3=	550.00
X4=	0.00	Y4=	200.00
X5=	0.01	Y5=	436.65
X6=	0.00	Y6=	460.0
X7=	0.00	Y7	559.93
X8=	29.8	Y8=	634.18
X9=	-29.8	Y9=	634.18
X10=	-114.95	Y10=	498.72
X11=	114.95	Y11=	498.72
X12=	0.00	Y12=	297.14
X13=	80.00	Y13=	322.15
X14=	-80.00	Y14=	322.15
L4-5	236.65	L1-6	40.00
L6-7	100.00	L7-8	80.00
L3-8	91.24	L7-9	80.00
L2-9	91.24	L2-9	160.00
L2-10	71.59	L9-10	160.00
L3-11	71.59	L12-13	80.00
L11-13	180.00	L12-14	80.00
L10-14	180.00	L13-14	160.00

4-кесте-Механизм орналасуының 4-жағдайы

Механизім туралы ақпарат (4-жағдай)			
X1=	0.00	Y1=	500.00
X2=	65.00	Y2=	550.00
X3=	-65.00	Y3=	550.00
X4=	0.00	Y4=	200.00
X5=	0.01	Y5=	436.65
X6=	40.0	Y6=	500.0
X7=	0.00	Y7	591.57
X8=	62.74	Y8=	641.21

4-кестенің жалғасы

X9=	-62.74	Y9=	641.21
X10=	-92.94	Y10=	484.09
X11=	92.94	Y11=	484.09
X12=	0.00	Y12=	280.35
X13=	80.00	Y13=	304.55
X14=	-80.00	Y14=	304.55
L4-5	236.65	L1-6	40.00
L6-7	100.00	L7-8	80.00
L3-8	91.24	L7-9	80.00
L2-9	91.24	L2-9	160.00
L2-10	71.59	L9-10	160.00
L3-11	71.59	L12-13	80.00
L11-13	180.00	L12-14	80.00
L10-14	180.00	L13-14	160.00

Престің әр түрлі орналасу жағдайларына байланысты серпімді кернеулі деформалық күйлері және орнықтылығы.

Біз осы жүргізілген есептеулерді APM WinMachine программалық жүйесінде есептелді. Кернеу, орын ауыстыру және орнықтылық жоғалтуға есептеулер алынды, есептеулер суретте максималды және мөлшері әр түрлі түспен көрсетілген. Мысалыға кернеулер картасында максималды буынында арнайы түспен көрсетілген.

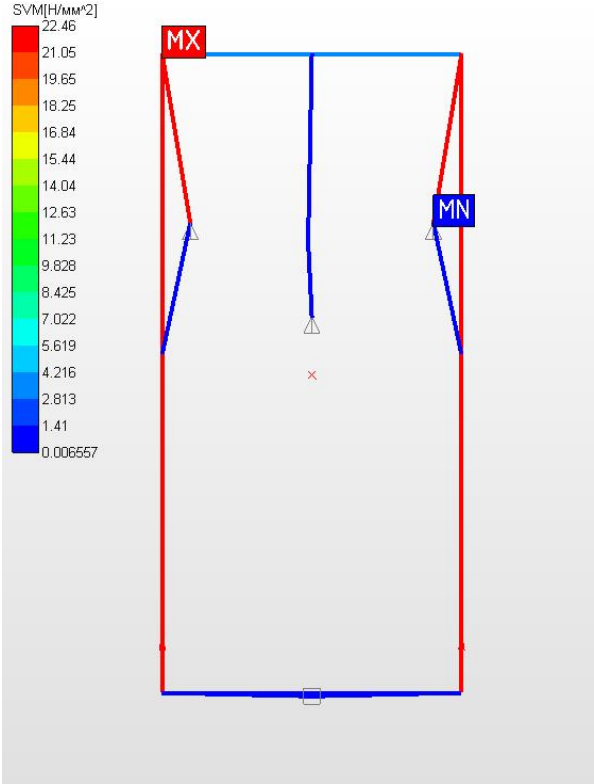
3.1 Пресстің механизмінің көлденең қимасы 30 мм болғандығы есептеулер

Бұл төрт түрлі орналасу күйінде $2,5 \cdot 10^3$ Н күш беру арқылы және көлденең қимасын біз 20 мм деп алынып, есептеулер жүгізілді.

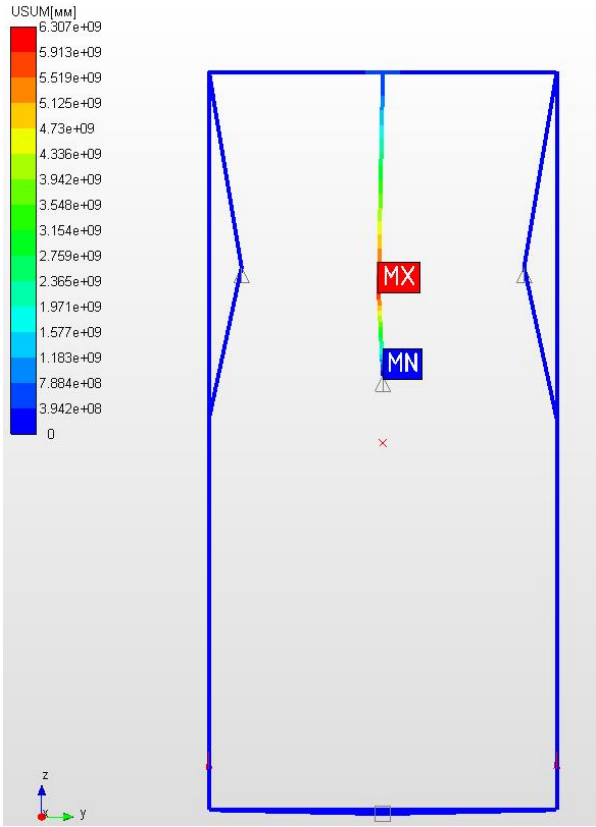
1 орналасу күйі:

3.10-суретте прессті механизмінің элементеріндегі ең үлкен кернеу шеткі түйіндерінде пайда болған. Максималды кернеуі 22,46 МПа механизмнің 9 буында қызғылт түспен көрсетілген, ал минималды кернеуі 1,41 МПа шеткі түйіндерінде қанық көк түспен көрсетілген.

3.11-сурете прессті механизмінде пайда болған ең үлкен орын ауыстыру 1,6 түйіндерде көрсетілген. Максималды орын ауыстыру 6,3 мм 6 түйінге жақын қызғылт түспен көрсетілген. Минималды орын ауысрыту 0 мм болып тұр.



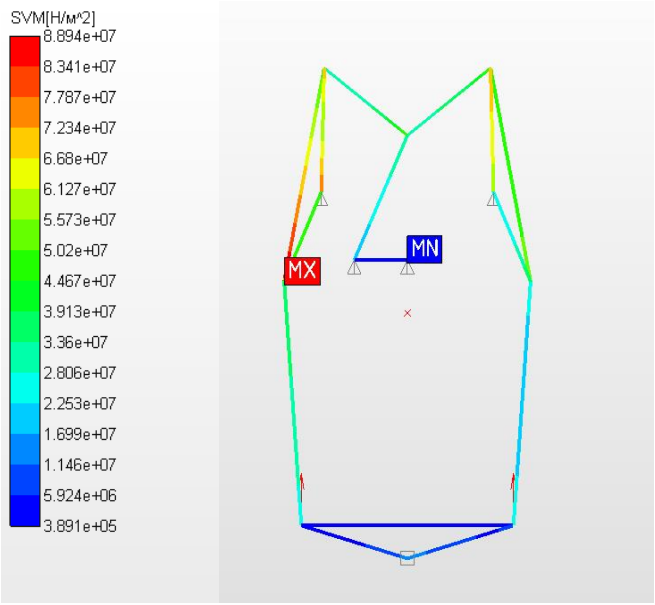
3.10-сурет — Пресстің механизмін кернеуге есептеу жағдайы



3.11-сурет — Пресстің механизмін орын ауыстыруға есептеу жағдайы

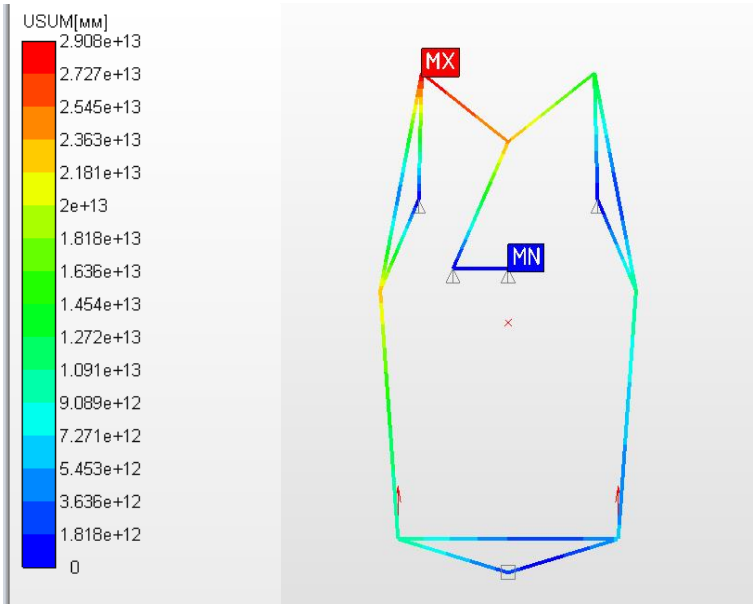
2 орналасу күйі:

3.12-суретте прессті механизмінің элементеріндегі ең үлкен кернеу 9,10 түйіндерінде пайда болған. Максималды кернеуі 88,94 МПа механизмнің 10 буында қызғылт түспен көрсетілген, ал минималды кернеуі 3,891 МПа 1-6,14-13 түйіндерінде қанық көк түспен көрсетілген.



3.12–сурет — Пресстің механизмін кернеуге есептеу жағдайы

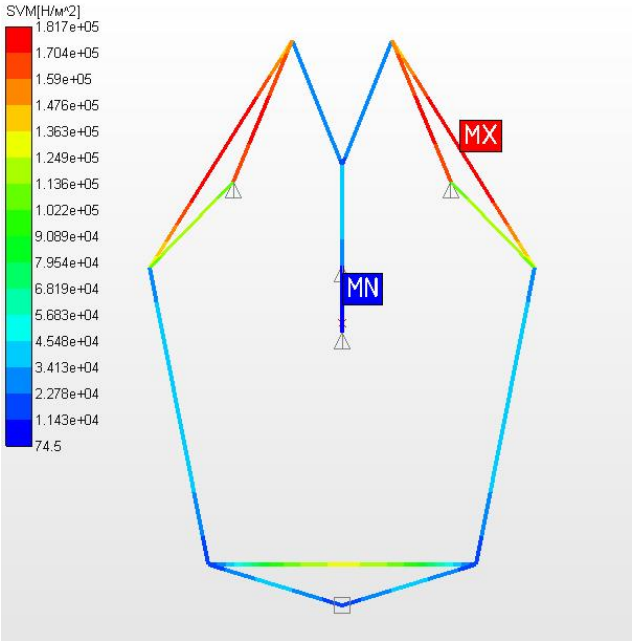
3.13-сурете прессті механизмінде пайда болған ең үлкен орын ауыстыру 9,7 түйіндерде көрсетілген. Максималды орын ауыстыру 2,9 мм 9 түйінге жақын қызғылт түспен көрсетілген. Минималды орын ауысрыту 1,8 мм болып тұр.



3.13-сурет — Пресстің механизмін орын ауыстыруға есептеу жағдайы

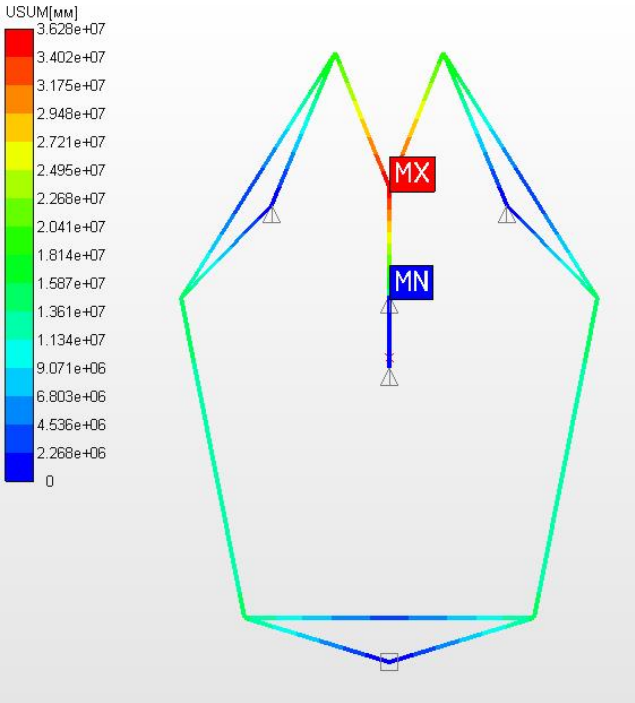
3 орналасу күйі:

3.14-суретте пресс механизмінің элементеріндегі ең үлкен кернеу 8-11, түйінде пайда болған. Максималды кернеуі 181,7 МПа механизмнің 8-11 буында қызғылт түспен көрсетілген, ал минималды кернеуі 7,4 МПа 8 түйіндерінде қанық көк түспен көрсетілген.



3.14-сурет — Пресс механизмін кернеуге есептеу жағдайы

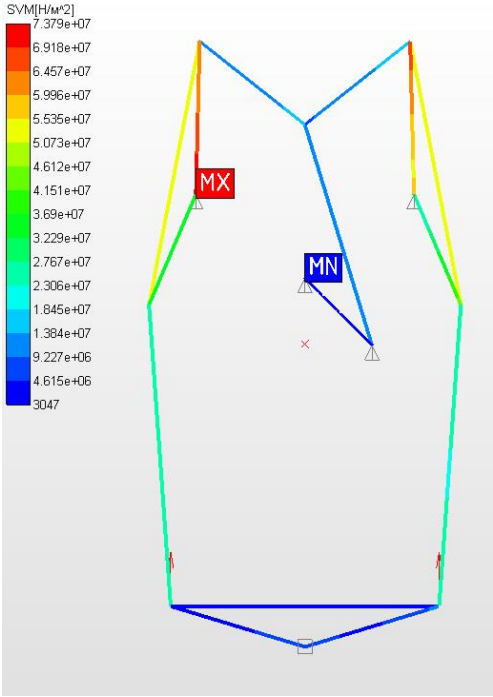
3.15 сурете пресстің механизмінде пайда болған ең үлкен орын ауыстыру 7,8,9 түйіндерде көрсетілген. Максималды орын ауыстыру 3,6 мм 7 түйінге жақын қызғылт түспен көрсетілген. Минималды орын ауыстыту 0 мм болып тұр



3.15-сурет — Персс механизмін орын ауыстыруға есептеу жағдайы

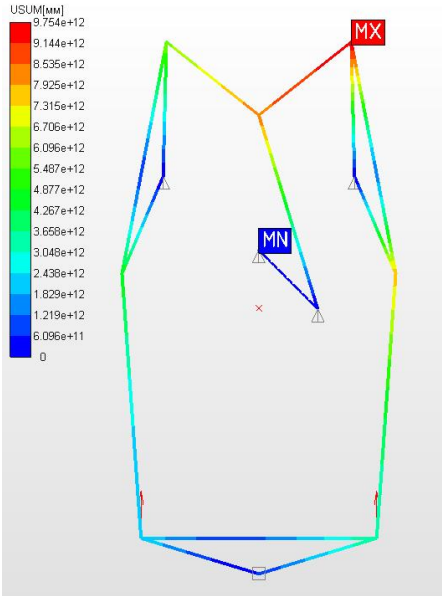
4 орналасу күйі:

3.16-суретте пресс механизмінің элементеріндегі ең үлкен кернеу 2-9, түйінде пайда болған. Максималды кернеуі 73,7 МПа механизмнің 2 буында қызғылт түспен көрсетілген, ал минималды кернеуі 4,6 МПа 1 түйіндерінде қанық көк түспен көрсетілген.



3.16-сурет — Пресс механизмін кернеуге есептеу жағдайы

3.17 сурете пресстің механизмінде пайда болған ең үлкен орын ауыстыру 7,8, түйіндерде көрсетілген. Максималды орын ауыстыру 9,7 мм 8 түйінге жақын қызғылт түспен көрсетілген. Минималды орын ауысрыту 0 мм болып тұр



3.17-сурет — Персс механизмін орын ауыстыруға есептеу жағдайы

ҚОРЫТЫНДЫ

Бұл жұмыста VII классты иінтректі пресстеу механизмнің кернеулі-деформациялы күйі мен сол механизмнің кинематикалық талдауы қазіргі қолданбалы инженерлік есептерді шешуде кеңінен қолданылатын - шекті элементтер әдісін пайдаланып зерттелді.

VII классты иінтректі пресстеу механизмнің кинематикалық талдауы APM WinMachine қолданбалы бағдарламасының APM Dynamics модулін арқылы жасалып, жүзеге асырылды.квазистатикалық беріктігі механизмнің 4 түрлі орналасу жағдайында WinMachine қолданбалы бағдарламасының APM Structure3D модулін пайдалану арқылы жүзеге асырылды.

VII классты иінтректі пресстеу механизмнің квазистатикалық беріктігі механизмнің 4 түрлі орналасу жағдайында APM WinMachine қолданбалы бағдарламасының APM Structure3D модулін пайдалану арқылы жүзеге асырылды.

Механизм звеноларында пайда болатын Мизес бойынша ең үлкен кернеу сырғытпаның ең жоғарғы жағдайынан (22.46 МПа) ең төменгі жағдайына дейін (0.18 МПа), ал аралық жағдайларда (88.94 - 73.79) МПа болып өзгерді.

Механизм звеноларының екі түрлі көлденең қималары бойынша жүргізілген есептеулер беріктік қор коэффициенті 2.643 және 3.246 болатынын көрсетті.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1 Механика машин: учебное пособие для вузов /Под редакцией дар ГА. Смирнова Авторы: И И. Вульфсон, М.3. Коловский, 3, Е.и дах и др. - М.: Выс. шк., 1996, - 511 с.

2 Thuleshov A., Jomartov A., Vector method for kinetostatic analysis of dinar inkages / Joural of the Brazilian Society of Mechanical Sciences in Engineering. -2018. - Vol. 40. - P. 55-69.

3 Tuleshov A., Jomartov A., Kaimov A. Modeling dynamics of plane-man gear of crank press on Simulation X // Proceedings of Second Interna-ional Conference of IFToMM Italy, Cassino. 2018, Italy.

4 ДжомартовА.А., ТулешовА. К., КутоваМ. Ж. Модель движения кривошипного пресса на базе рычажного механизма 4-го класса// Аннотации докладов XII Всероссийского съезда по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механики. - 2019.РФ, -Уфа: 19-24 августа.- С. 56-59.

5 Tuleshov A., Jomartov A., Kuatova M. Simulation of the crank press dynamics by Simulation X software // Journal of Mathematics, Mechanics and Computer Science. - 2019. - No2 (102). - P. 22-33

6 M.Erkan Kutuk, L.Canan Dulger. A hybrid press system: Motion design and inverse kinematics issues/Engineering Science and Technology an International Journal, 2016. -P. 846-856.

7 Рей Р.И., Монятовский С.С. Кузнечно-штамповочно оборудо-вание. Прессы кривошипные. -Луганск: изд.СНУ, 2000. - 216 с.

8 Ланской Е.Н., Банкетов А.Н. Элементы расчета деталей и узлов кривошипных прессов. -М.: Машиностроение, 1966. - 379 с.

9 Бочаров ЮЮ.А. Кузнечно-штамповочное оборудование. - М.: Издательский центр «Академия», 2008. - 480 с.

10 Дэнизл Т. Банах, Трэвис Джонс, Алан Дж. Каламейя. Auto desk Inventor, - М.: Лори, 2006, -714с.

11 Замрий д.А. CADICAE система APM Win Machine. Прак-1 тический учебный курс: учебно-методическое пособие. -М.: изд-воАРМ, 2007. - 144 с.

12 Патент РК на изобретения №34678

13 Джамалов Н.К. Метод координат кинематического анализа плоских рычажных механизмов//Труды международной конференции «Математическое моделирование механических систем и физических процессов. -Алматы: 2001. – С. 104-111

14 Зенкевич О. Применение метода конечных элементов в технике. – М.: Мир, 1975.

15 Галлагер Р. Метод конечных элементов. Основы, -М.: Мир, 1984. - 428 с.

16 Сегерлинд А. Применение метода конечных элементов. - М.: Мир, 1979.

17 Шелофаст В.В. Чугунова Т. Б. Основы проектирования машин. Примеры решения задач. - М.: издательство АПМ, 2004.

18 Шелофаст В. В. Основы проектирования машин. – М.: издательство АПМ., 2005.