

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ



Ә.Бүркітбаев атындағы Өнеркәсіптік инженерия институты
Қолданбалы механика және инженерлік графика кафедрасы

Дәулетов А.Н.

Жүк тиегіш механизмнің орнықтылығын есептеу

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

5B071200 – «Машина жасау» мамандығы

Алматы 2019

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

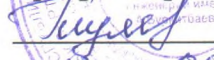


СӘТБАЕВ
УНИВЕРСИТЕТІ

Ә.Бүркітбаев атындағы Өнеркәсіптік инженерия институты
Қолданбалы механика және инженерлік графика кафедрасы

ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ

/ Кафедра меңгерушісі
физ.-мат. ғыл. д-ры,
профессор

 А.Калтаев

«13» 05 2019 ж.

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

Тақырыбы: «Жүк тиегіш механизмнің орнықтылығын есептеу»

5B071200 – «Машина жасау» мамандығы бойынша

Орындаған



Дәулетов А.Н

Ғылыми жетекші
техн. ғыл. канд., ассоц. проф.

 Г.А. Абдраимова

«13» 05 2019 ж.

Алматы 2019



СӘТБАЕВ
УНИВЕРСИТЕТІ

Ә.Бүркітбаев атындағы Өнеркәсіптік инженерия институты
Қолданбалы механика және инженерлік графика кафедрасы

5B071200 – «Машина жасау»

БЕКІТЕМІН

Кафедра меңгерушісі
физ.-мат. ғыл. д-ры, профессор
А.Калтаев
« 14 » 11 2018ж.

Дипломдық жұмысты орындауға
ТАПСЫРМА

Білім алушы Дәулетов А.Н

Тақырыбы Жүк тиегіш механизмнің орнықтылығын есептеу

Университет басшысының 2018 жылғы «14» қараша №1252-б бұйрығымен
бекітілген

Аяқталған жұмысты тапсыру мерзімі 2019 жылғы « »

Дипломдық жұмыстың бастапқы берілістері механизмнің кинематикалық
сипаттамалары

Дипломдық жұмыста қарастырылатын мәселелер тізімі

а.Кіріспе. Дипломдық жұмыстың тақырыбын таңдауға негіз. Әдебиеттік-
потенттік шолу

б.Негізгі бөлім

в.Жүк тиегіш механизмнің орнықтылығын есептеу

г. Негізгі элементтерді беріктікке, қатаңдыққа және орнықтылыққа АРМ
FEM жүйесімен есептеу

д.Жұмыстың қорытындысы

Сызба материалдар тізімі (міндетті сызбалар дәл көрсетілуі тиіс)

Сызбалық материалдар 10 слайдпен көрсетілген

Ұсынылатын негізгі әдебиет 9 атау

Дипломдық жұмысты дайындау
КЕСТЕСІ

Бөлімдер атауы, қарастырылатын мәселелер тізімі	Ғылыми жетекші мен кеңесшілерге көрсету мерзімдері	Ескерту
Кіріспе. Дипломдық жұмыстың тақырыбын таңдауға негіз. Әдебиеттік-потенттік шолу	21.02.19	
Негізгі бөлім	27.03.19	
Жүк тиегіш механизмнің орнықтылығын есептеу	19.04.19	

Дипломдық жұмыс бөлімдерінің кеңесшілері мен
норма бақылаушының аяқталған жұмысқа қойған
қолтаңбалары

Бөлімдер атауы	Кеңесшілер аты, әкесінің аты, тегі, (ғылыми дәрежесі, атағы)	Қол қойылған күні	Қолы
Норма бақылау	Е.Т. Бекенов, техн. ғыл. канд., ассоц.проф.	13.05.2019	

Ғылыми жетекші _____  Г.А. Абдраимова

Тапсырманы орындауға алған білім алушы _____ А.Н Дәулетов

Күні “__” _____ 2019 ж.

МАЗМҰНЫ

Кіріспе	7
1 Теория негіздері	8
1.1 Материалдар кедергісі ғылымының негізгі ұғымдары	8
1.2 Тиегіштер түрлері	10
1.3 Бағдарламалық комплекс “APM WinMachine ”	12
2 Серпімді буынды механизмнің квазистатикалық кернеулі-деформациялы күйі	14
2.1 Серпімді сырықты жүйелердің шекті элементтер әдісіндегі негізгі теңдеулері	14
3 Жүк тиегіш механизмнің орнықтылығын есептеу	18
3.1 Жүк тиегіш механизмнің орналасу күйіне байланысты кернеулі-деформациялы күйі	20
3.2 Қысқаша қорытынды	29
Қорытынды	31
Пайдаланылған әдебиеттер тізімі	32

АНДАТПА

Дипломдық жұмыста объектілер екі түйінмен шектелген түзусызықты элементтердің қосындысы түрінде көрсетілген. Шекті элементті дискретизациялау арқылы стерженді элементтерден құралған механизмдердің квазистатикалық серпімді орнықтылығы қарастырылған. Механизмнің серпімді орнықтылықты жоғалтудың талдауы келтірілген. Механизмдердің квазистатикалық орнықтылығы, кернеулі деформациялы күйі және орнықтылығы буындарының серпімділігін ескере отырып шекті элементтер әдісімен зерттелген. Конструкция эксплуатациялық күшке ғана берік болмай, біршама артық күшке де төзімді болуы қажет. Жұмыста осы зерттеулерге арналған инженерлік АРМ Structured комплексі қолданылып, жоғарғы дәлдікпен нәтижелер алынған.

АННОТАЦИЯ

В дипломном проекте объекты представлены в виде суммы прямых линейных элементов, ограниченных двумя узлами. Квазистатическая упругая устойчивость механизмов, состоящих из стержневых элементов, рассматривалась путем дискретизации элементов. Квазистатическая устойчивость механизмов, напряженно-деформированное состояние исследуются с учетом упругости элементов. В работе для этих исследований использовался программный комплекс АРМ с высокой точностью результатов.

ANNOTATION

In the Diploma Project, the objects are represented as a sum of straight linear elements bounded by two nodes. The quasi-static elastic stability of the mechanisms consisting of stem elements was considered by discretizing the threshold element. An analysis of the mechanism of elastic stability loss of the mechanism is given. The quasi-static stability of the mechanisms, the stress-strain state and stability are investigated by the limiting elements, taking into account the elasticity of joints. The design should be resistant to operational force and be resistant to excessive force. In the work, the APM Structured Engineering Complex was used for these studies, with high precision results.

КІРІСПЕ

Біздің елімізде материалдық-техникалық базаны құруда көтерме-көліктік машина жасау маңызды рөлге ие, оның алдына халық шаруашылығының барлық салаларында өндірістік процестерді кешенді механикаландыру мен автоматтандыруды кеңінен енгізу, қол тиеу-түсіру жұмыстарын жою және халық шаруашылығында негізгі және қосалқы өндірістік операцияларды орындау кезінде ауыр қол еңбегін болдырмау міндеті қойылған. Қазіргі заманғы ағынды технологиялық және автоматтандырылған желілер, цехаралық және цехішілік көлік, тиеу-түсіру операциялары өндірістік процестердің үздіксіздігі мен ырғақтылығын қамтамасыз ететін Көтеру-тасымалдау машиналары мен механизмдерінің әртүрлі түрлерін қолдануды талап етеді. Сондықтан көтергіш-көлік жабдығы қазіргі уақытта көмекші құралдардан қазіргі заманғы өндірістің мүмкіндіктерін анықтайтын өндірістік процестің шешуші факторларының біріне айналады. Өндірістің әр түрлі салаларында тиеу-түсіру және көлік-қойма жұмыстарын кешенді механикаландыру және автоматтандыру деңгейі едәуір шамада олардың жұмыс тиімділігін қамтамасыз ететін және ауыр дене еңбегімен айналысатын қосалқы жұмысшылардың көп санын босататын әмбебап және неғұрлым жаппай машиналар болып табылатын рельссіз еденді көлік машиналарымен (МНБТ) жабдықталуына байланысты. Рельссіз едендегі көлік машиналары көтергіш-көлік құралдарының басқа түрлерімен салыстырғанда анағұрлым жинақы және маневрлі, салмағы аз және халық шаруашылығының барлық салаларында барынша жоғары пайдалану көрсеткіштері бар жекелеген машиналарды, жабдықтарды, аспаптар мен технологиялық процестерді жасау мен енгізуден тиімділігі жоғары жүйелерді әзірлеуге, өндіруге және жаппай пайдалануға біртіндеп көшу жүзеге асырылады. Қайта тиеу машиналарын жедел дамыту, қайта тиеу пункттері мен қоймаларды техникалық жабдықтау, тиеу-түсіру жұмыстарының технологиясын жетілдіру бағдарламасы сәтті жүзеге асырылуда. Кез-келген инженерлік ғимарат – көпір, көлік, қайық, және т.б инженерлік жолмен салынған ғимараттар, өзіміз білетіндей белгілі бір есептеулермен салынады. Қазіргі таңда, белгілі бір ғимаратты салу үшін оған көптеген есептеулер жүргіземіз. Оның белгілі бір күш түскенде шыдауы, басқа да табиғи жағдайлар орын алғанда құлап кетпеу, барлығы қарастырылады.

1 Теория негіздері

1.1 Материалдар кедергісі ғылымының негізгі ұғымдары

Материалдар кедергісі - инженерлік құрылымдар элементтерінің беріктігі, қаттылығы және сенімділігі туралы ғылым. Материалдар кедергісінің әдістерімен практикалық есептеулер жүргізіледі және машина бөлшектерінің, әр түрлі құрылымдар мен құрылыстардың сенімді өлшемдері анықталады.

Материалдар кедергісінің негізгі ұғымдары жалпы механиканың заңдары мен теоремаларына және бірінші кезекте статика заңдарына негізделеді, оларды білмей осы пәнді үйрену мүмкін емес.

Теориялық механикадан айырмашылығы материалдар кедергісінде деформацияланатын денелердің қасиеттері ең маңызды болып табылатын есептерді қарастырады, ал дене қозғалысының заңдары қатты тұтас ретінде, тек екінші жоспарға ауытқып қана қоймай, бірқатар жағдайларда елеулі емес болып табылады.

Материалдардың кедергісі конструкцияның типтік, ең жиі кездесетін элементтерін есептеудің іс жүзінде қолайлы қарапайым тәсілдерін жасау мақсаты болып табылады. Әрбір практикалық есептің шешімін Кейбір сандық нәтижеге жеткізу қажеттілігі бірнеше жағдайларда есептік деректерді экспериментпен салыстыру жолымен ақталатын қарапайым болжам-болжамдарды қолдануға мәжбүр етеді.

Сонымен, біз қатты деформацияланған денелермен физикалық қасиеттерін зерттейтін боламыз.

Беріктігі - бұл конструкцияның қиратпай, берілген жүктемені ұстап тұру қабілеті. [1]

Қаттылық-конструкцияның берілген нормативтік регламентке сәйкес деформациялауға қабілеттілігі.

Деформация-сыртқы күштердің әсерінен өзінің геометриялық өлшемдері мен пішінін өзгерту конструкциясының қасиеті

Орнықтылық-сыртқы күштердің әрекеті кезінде тепе-теңдіктің берілген нысанын сақтау қасиеті.

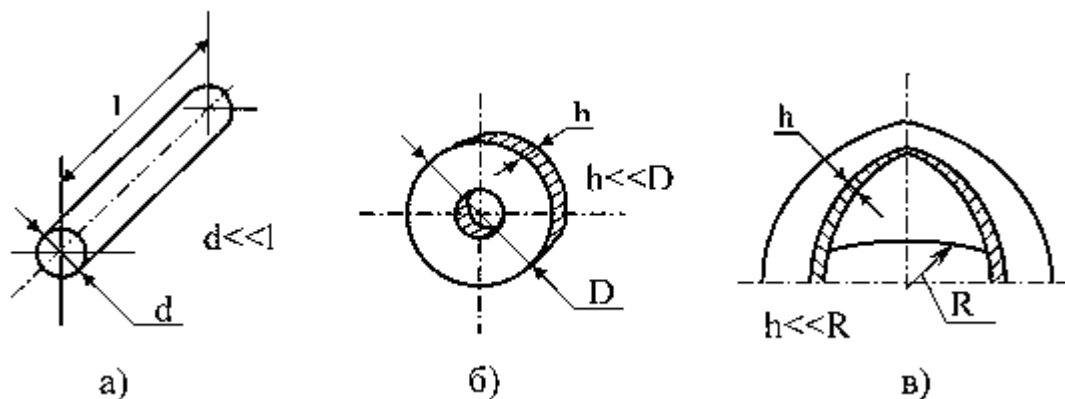
Сенімділік-қажетті уақыт аралығында белгілі бір нормативтік шектерде өзінің пайдалану көрсеткіштерін сақтай отырып, конструкцияның берілген функцияларын орындау қасиеті.

Ресурс-бұйымның рұқсат етілген қызмет мерзімі. Жұмыстың жалпы уақыты немесе конструкцияны жүктеу циклдерінің саны түрінде көрсетіледі. Істен шығу-конструкцияның жұмысқа қабілеттілігінің бұзылуы. Жоғарыда айтылғандарға сүйене отырып, беріктік сенімділіктің анықтамасын беруге болады.

Беріктілік деп - конструкция элементтерінің бұзылуымен немесе жол берілмейтін деформацияларымен байланысты істен шығулардың болмауы деп аталады.

Серпімділік-дененің сыртқы жүктемені алғаннан кейін өз пішінін қалпына келтіру қасиеті.

Жүктеменің әрекеті тоқтағаннан кейін немесе жүктеме кезінде ішінара алынған, деформация дененің сақталу қасиеті пластикалық деп аталады. Тұрақты сыртқы жүктемелерде деформацияны арттыру дененің қасиеті. Беріктілік үлгілеріндегі форманың негізгі модельдері: өзектер, пластиналар, қабықтар және кеңістіктегі денелер деп айтуға болады (1.1 – сурет)



1.1-сурет - Беріктілік үлгілеріндегі негізгі модельдер: а) өзек, б) пластина, в) қабық

Жүктеудің модельдерінде сыртқы жүктемелердің шамасы, таралу сипаты (шоғырланған немесе бөлінген күш немесе сәт), сондай-ақ сыртқы өрістер мен ортаның әсері бойынша схематизациясын қамтиды.

Конструкция элементіне әсер ететін сыртқы күштер 3 топқа бөлінеді: 1) шоғырланған күштер, 2) бөлінген күштер, 3) көлемді немесе жаппай күштер.

Шоғырланған күштер — бөлшектер бетінің шағын бөліктерінде әрекет ететін күштер (мысалы, шарикоподшипниктің білікке арналған қысымы, доңғалақтың рельстерге және т. б. қысымы.) (Мысалы, бу өткізгіштегі, құбырдағы, қазандықтағы Бу қысымы, ұшақ қанатындағы ауа қысымы және т. б.).

Форманың, материалдың, жүктеудің модельдерін негізделген таңдағаннан кейін қирау модельдерінің көмегімен сенімділіктің тікелей бағалауына өтеді. Қирау модельдері бұзылған сәтте конструкция элементінің жұмыс істеу қабілетін беріктікті қамтамасыз ететін параметрлермен байланыстыратын теңдеулер болып табылады. Бұл теңдеулер (шарттар) беріктік шарттары деп аталады. Әдетте жүктеу шарттарына байланысты төрт бұзылу үлгісі қарастырылады:

- статикалық бұзылу,
- ұзақ статикалық бұзылу,
- азоциклді статикалық бұзылу,
- шаршау бұзылуы.

Циклдардың аз саны ($N < 10^2$) кезінде едәуір пластикалық деформациялар (статикалық бұзылулар) дамиды, циклдердің көп саны ($N > 10^5$) кезінде пластикалық деформациялар (шаршау бұзылуы) жоқ.

Аралық аймақта ($102 < N < 105$) қирау аралас сипатқа ие (азоциклді қирау). Егер конструкция элементіне жоғары температура әсер етсе (алюминий қорытпалары үшін 200 С⁰ жоғары, болат және титан қорытпалары үшін 400 С⁰ жоғары, ыстыққа төзімді қорытпалар үшін 600 С⁰ жоғары), бірақ бұл жағдайда материалдың ұзақ беріктігі деп аталады. [2]

Осылайша, материалдардың кедергісі қолданыстағы күштің шамасына ғана емес, сонымен қатар әсер ету ұзақтығына да байланысты.

1.2 Тиегіштер түрлері

Тиегіштер және қазіргі заманғы өндірісте ең керекті құралдардың бірі деп атауға болады. Орташа көлемдегі қойма үй-жайын (үлкендер туралы тіпті айту қажет емес), құрылыс алаңын немесе жүк тиегіштің ең болмағанда бір бірлігі болмаса, ТКШ көлік паркін елестету қиын. Атауынан жүк тиегіш-жүкті көтеруі және жылжытуыға тиіс машина (Көтеру-тасымалдау машинасы). Жүк әртүрлі болғандықтан, жүк тиегіштер де әр түрлі болуы керек. Тиегіштердің түрлері бойынша негізгі бөлу орны ауыстырылатын жүктің типі бойынша өтеді: сусымалы және қатарланған жүктер. Осы жерден екі ірі класты жүк тиегіштерді бөліп аламыз: фронтальды шөміш тиегіштер және шанышқы тиегіштер.

Фронтальды шөмішті тиегіштер негізінен сусымалы жүктерді (қиыршық тас, қиыршық тас, құм, қар) жылжыту үшін қолданылады. Мұндай техниканың басты тұтынушылары жол-құрылыс ұйымдары, асфальт және бетон өндіру зауыттары, карьерлер, тұрғын үй-коммуналдық шаруашылықтар

Фронтальды жүк тиегіштер арасында жеке класс ретінде шынжыр табанды шөміш тиегіштерді бөлуге болады. Негізінен олар доңғалақ техникасының өткізгіштігі жеткіліксіз жұмсақ топырақтағы жол-құрылыс жұмыстары үшін пайдаланылады.

Фронтальды шөмішті тиегіштер негізінен сусымалы жүктерді (қиыршық тас, қиыршық тас, құм, қар) жылжыту үшін қолданылады. Мұндай техниканың басты тұтынушылары-жол-құрылыс ұйымдары, асфальт және бетон өндіру зауыттары, карьерлер, тұрғын үй-коммуналдық шаруашылықтар.

Фронтальды жүк тиегіштер арасында жеке класс ретінде шынжыр табанды шөміш тиегіштерді бөлуге болады. Негізінен олар доңғалақ техникасының өткізгіштігі жеткіліксіз жұмсақ топырақтағы жол-құрылыс жұмыстары үшін пайдаланылады.

Шанышқылы тиегіштерді қолдану саласы, негізінен, қойма қызметіне шоғырланған. L-бейнелі вилдің көмегімен арнайы техниканың осы түрі проблемасыз фураны паллетирленген тауармен түсіреді, қойманың тар өту жолдары бойынша отынмен бірнеше бөшкелерді ауыстырады.

Ал шанышқылы тиегіштің жүк көтергіштігі 16 тоннадан аспауы мүмкін екенін ескере отырып, контейнерлерді тиеу-түсіру және қатарлау да осы тамаша көмекшілердің күшімен.

Жоғарыда айтылғандарды ескере отырып, Шанышқылы тиегіштердің негізгі тұтынушылары — ірі дүкендер, қойма терминалдары, порттар, темір жол станциялары, әуежайлар, құбыр илектеу және кабель зауыттары деп анықтауға болады. Жалпы, тасымалданатын жүктердің салмағы 50-100кг асатын кез келген өндіріс үшін механикаландырылған көмекшіні Ашалы тиегіш түрінде алуға болады.

Айта кету керек, ауыстырмалы аспалы жабдығы бар тиегіштердің аралас түрлері бар. Сондай-ақ, экскаватор-тиегіш (шұңқырдың өзі қазып, өзі топырақты өзі аударғыш жерге тиеді), жинаушы(метла) - тиегіш сияқты арнайы техниканың аралас үлгілері кеңінен қолданылды. Ресейде ЯМЗ, ЮМЗ, ЛТЗ және т. б. атақты тракторлардың негізінде жасалған аралас жүк тиегіштер ең танымал.

Шанышқы тиегіштер бойлық және көлденең орнықтылығын тексереді. Есептеу мақсаты тиегіштің негізгі конструктивтік параметрлерін анықтау (жүк көтергішсіз тиегіштің ауырлық орталығының, жүк аударылу нүктесіне қатысты орналасуы) оның тұрақтылығын қамтамасыз етеді. Есеп айырысу үшін машинаның өзі мен жүк көтергіштің жоғарғы рамасы бар және түсірілген ауырлық орталықтарының орналасуымен алдын ала қойылуы қажет. Жүк көтергішсіз тиегіштің ауырлық орталығының жағдайын машинаның негізгі массасы оның артқы жартысына тура келетін есеппен тағайындаймыз, өйткені онда машинаның ең көлемді бөліктері: аспалы агрегаттары бар қозғалтқыш, беріліс ауыстыру қорабы, қарсы салмақ орналасқан. Жүк көтергіш механизмде негізгі салмақ жүк көтергіш рамаларына келеді, сондықтан ауырлық орталығының орналасуын жүк көтергіш рамасының осіне белгілейміз. Бойлық тұрақтылыққа тиегішті есептеу

Бірінші жағдай. Толық биіктікке көтерілген номиналды жүгі бар және жүк көтергіш істен шыққанға дейін алға ауытқыған автотиегіш көлденең алаңда тұрады. Есептеу кезінде алдыңғы көпірдің қонуына және конструкция элементтерінің серпімді деформациясына байланысты жүк көтергіштің Алға қосымша көлбеуін ескеру қажет. Мұндай жағдай жүкті қатарлау кезінде кездеседі және тұрақтылық үшін ең ауыр болып саналады. Біздің елімізде материалдық-техникалық базаны құруда көтерме-көліктік машина жасау маңызды рөлге ие, оның алдына халық шаруашылығының барлық салаларында өндірістік процестерді кешенді механикаландыру мен автоматтандыруды кеңінен енгізу, қол тиеу-түсіру жұмыстарын жою және халық шаруашылығында негізгі және қосалқы өндірістік операцияларды орындау кезінде ауыр қол еңбегін болдырмау міндеті қойылған. Қазіргі заманғы ағынды технологиялық және автоматтандырылған желілер, цехаралық және цехішілік көлік, тиеу-түсіру операциялары өндірістік процестердің үздіксіздігі мен ырғақтылығын қамтамасыз ететін Көтеру-тасымалдау машиналары мен механизмдерінің әртүрлі түрлерін қолдануды талап етеді. Сондықтан көтергіш-көлік жабдығы қазіргі уақытта көмекші құралдардан қазіргі заманғы өндірістің мүмкіндіктерін анықтайтын өндірістік процестің шешуші факторларының біріне айналады.

Өндірістің әр түрлі салаларында тиеу-түсіру және көлік-қойма жұмыстарын кешенді механикаландыру және автоматтандыру деңгейі едәуір шамада олардың жұмыс тиімділігін қамтамасыз ететін және ауыр дене еңбегімен айналысатын қосалқы жұмысшылардың көп санын босататын әмбебап және неғұрлым жаппай машиналар болып табылатын рельссіз еденді көлік машиналарымен (МНБТ) жабдықталуына байланысты. Көтергіш-көлік құралдарының басқа түрлерімен салыстырғанда рельссіз еден үсті көлігінің машиналары жинақы және маневрлі, салмағы аз және жоғары пайдалану көрсеткіштері бар. Халық шаруашылығының барлық салаларында жекелеген машиналарды, жабдықтарды, аспаптар мен технологиялық процестерді құру мен енгізуден тиімділігі жоғары жүйелерді әзірлеуге, өндіруге және жаппай пайдалануға біртіндеп көшу жүзеге асырылады. Қайта тиеу машиналарын жедел дамыту, қайта тиеу пункттері мен қоймаларды техникалық жабдықтау, тиеу-түсіру жұмыстарының технологиясын жетілдіру бағдарламасы сәтті жүзеге асырылуда.

1.3 Бағдарламалық комплекс “APM WinMachine ”

APM WinMachine-CAD / CAE есептеу математикасындағы соңғы жетістіктерді, сандық әдістер мен бағдарламалау саласын, сондай-ақ теориялық және эксперименттік инженерлік шешімдерді ескере отырып әзірленген машина жасау саласындағы механикалық жабдықтар мен конструкцияларды автоматты есептеу және жобалау жүйесі. Бұл жүйе конструкторлық құжаттаманы ресімдеуге, сондай-ақ есептік алгоритмдерге қатысты мемлекеттік стандарттар мен ережелердің талаптарын толық көлемде ескереді.

APM WinMachine құрылым үлгілерін жасау, қажетті есептеулерді орындау және алынған нәтижелерді визуализациялау үшін кең функционалды мүмкіндіктерге ие. Бұл мүмкіндіктерді пайдалану жобалау мерзімдерін қысқартуға және конструкциялардың материал сыйымдылығын азайтуға, сондай-ақ жобалау жұмыстары мен жалпы өндірістің құнын азайтуға мүмкіндік береді.[3]

APM WinMachine жүйесінде бар есептеу және графикалық құралдар қолданбалы міндеттердің ауқымды шеңберін шешуге мүмкіндік береді:

1. механикалық жабдықтарды және оның элементтерін инженерлік әдістермен есептеу;
2. еркін бекіту, статикалық немесе динамикалық жүктеу кезінде кез келген күрделіктегі үшөлшемді объектілердің кернеулі-деформацияланған жай-күйіне (соңғы элементтер әдісі арқылы) талдау жүргізу;
3. ЕСКД сәйкес конструкторлық құжаттаманы жасау;
4. жобалау кезінде жеткізілетін стандартты бұйымдар мен материалдардың деректер базасын пайдалану, сондай-ақ кәсіпорын қызметінің нақты бағыттары үшін өзінің жеке базасын құру;

5. бұрын жасалған сызбалар мен кеңістіктік модельдермен жұмыс істеу үшін бөгде графикалық пакеттермен интеграциялау мүмкіндіктерін пайдалану.

APM WinMachine жүйесі қамтиды:

1. бірыңғай сызба-графикалық орта;
2. деректер базасы және оны басқару жүйесі;
3. базалық есептік ядро — модуль әрине-элементтік (беріктік) талдау APM Structure3D;
4. APM Dynamics иінтіректі механизмдердің кинематикалық және динамикалық талдау модулі;
5. бұрандалы, дәнекерленген, тойтарма жалғауларды, сондай-ақ APM Joint Айналу денелері түріндегі бөлшектердің қосылыстарын есептеу модулі;
6. сызба құжаттамасын автоматты түрде генерациялау мүмкіндігі бар машиналар мен механизмдердің бөлшектерін инженерлік талдау құралдары;
7. STEP, SAT және DXF форматтарын пайдалана отырып, бөгде графикалық редакторлардан конструкция модельдерінің геометриясын импорттау құралдарын бөлу параметрлерін интерактивті өзгерту мүмкіндігі бар тұрақты және ауыспалы қадамдары бар түпкілікті элементтер торларын автоматты генерациялау құралдары

WinStructure 3D АПМ-рамалық, пластиналы, қабықшасы, сондай-ақ соңғы элементтерден аралас құрылымдарды есептеу үшін әмбебап жүйе. Бағдарламаның көмегімен сіз еркін көлденең қиманың өзекшелерінен, еркін жүктеу және бекіту кезінде пластиналар мен қабықтардан тұратын ерікті үш өлшемді конструкцияны есептей аласыз. Бұл ретте тораптардағы элементтердің қосылыстары қатты да, топсалы да болуы мүмкін.

WinStructure 3D есептеулердің АЖО жүйесімен орындалған нәтижесінде келесі ақпаратты алуға болады:

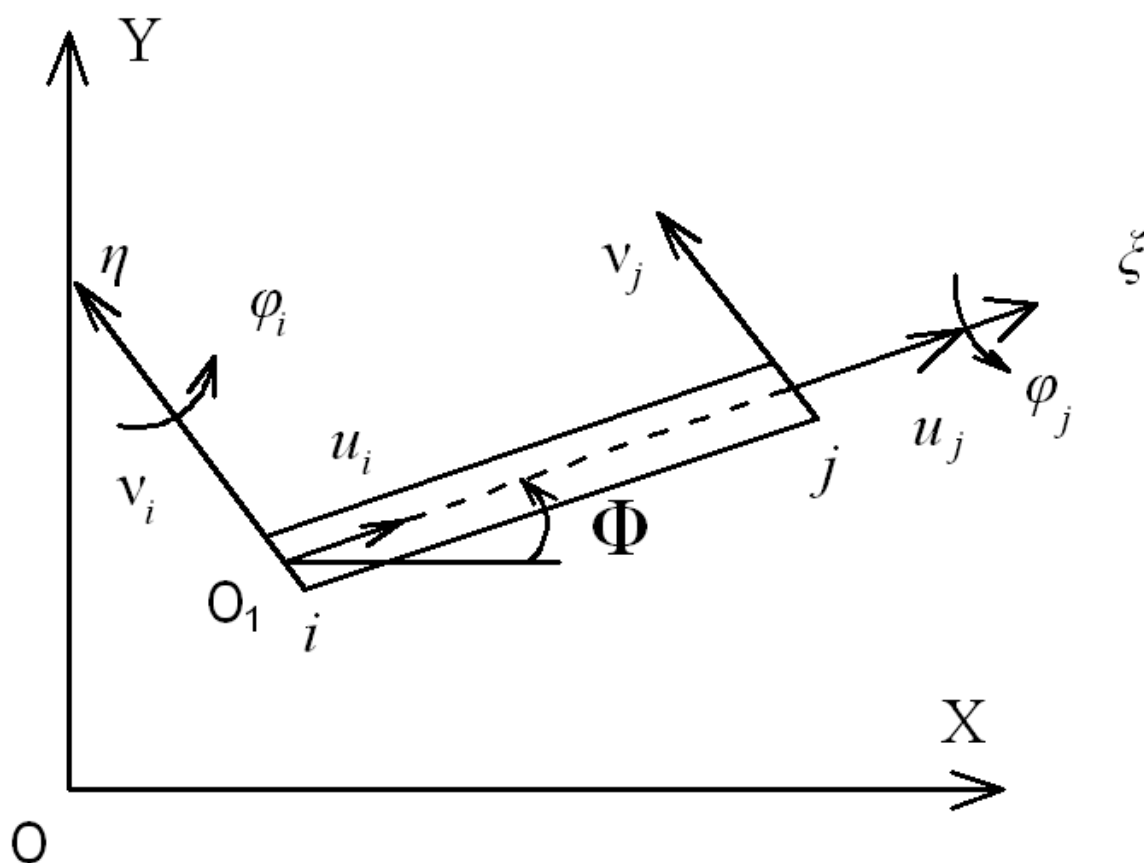
- конструкция элементтерінің ұшындағы жүктемелер;
- өзек ұзындығы бойынша және пластиналар мен құрылым қабықшаларының беті бойынша кернеу картасы;
- еркін нүктені жылжыту;
- өзектің еркін қимасындағы кернеуді тарату картасы;
- конструкцияның жеке өзегі үшін-иілу және айналдыру сәттерінің, көлденең және осьтік күштердің және т. б. эпюралары.

2 Серпімді буынды механизмнің квазистатикалық кернеулі-деформациялы күйі

2.1 Серпімді сырықты жүйелердің шекті элементтер әдісіндегі негізгі теңдеулері

Жазық және кеңістіктік сырықтан құралған механизмдер квазистатикалық орнықтылығын зерттеу шекті элементтер әдісімен жүзеге асырылады. Қарастырылған сырықты жазық конструкция сырықты элементтерге бөлінеді және түйіндерінде бір-бірімен өзара байланысады.

Барлық түйіндер және элементтер нөмірленеді, содан әр есептелінетін элементтің басы және аяғы көрсетіледі (2.1-сурет).



2.1 - сурет - Шекті элемент

Зерттелетін объекті сырықты элементтерге бөлу әдісі еркін болып табылады. Кинематикалық және күштік сипаттамалары көп өзгертін жерлерде сырық қосымша элементтерге бөлінеді. Денені глобальді декартты жүйелі координаттарға $Oxuz$ апарады. Сыртқы күштер әсерінен есептейтін “e” элементтінің әр нүктесі деформацияланады: $O_1\xi\eta$ локальды координат жүйесінің кез-келген түйінінің сызықты орын ауыстыруы мен бұрылу бұрышын u , v және ϕ арқылы белгіленеді [4].

Сонда $u_i v_i \varphi_i$ және $u_j v_j \varphi_j$ i, j түйіндерінің кинематикалық сипаттамалары болады. Оху координат жүйесінде орын ауыстыру және бұрылу бұрышының құраушылары $U_i V_i \varphi_i U_j V_j \varphi_j$ болады.

Глобалды және локалды координаттар жүйесінде векторлық мәндері енгізіледі.

$$\begin{aligned}\{\delta_k^e\}^T &= (u_i, v_i, \varphi_i, u_j, v_j, \varphi_j) \\ \{\delta_\Gamma^e\}^E &= (U_i, V_i \varphi_i, U_j, V_j, \varphi_j)\end{aligned}\quad (2.1)$$

$\{\delta_\lambda^e\}$ және $\{\delta_\Gamma^e\}$ векторлар арасындағы байланыс.

$$\{\delta_\lambda^e\} = \begin{bmatrix} [T_0] & 0 \\ 0 & [T_0] \end{bmatrix} \{\delta_\Gamma^e\} = [T] \{\delta_\Gamma^e\}; \quad (2.2)$$

мұнда $[T_0]$ - III-ретті квадратты матрица немесе бағыттаушы косинулар матрицасы деп аталады.

$$[T_0] = \begin{pmatrix} \cos \varphi & \sin \varphi & 0 \\ -\sin \varphi & \cos \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2.3)$$

(2.2) - ші теңдеуінен локалды координат жүйесіндегі $\{\delta_\lambda^e\}$ арқылы глобалды $\{\delta_\Gamma^e\}$ координат жүйесіндегі орын ауыстырулар табуға болады.

$$[T]^T \{\delta_\lambda^e\} = [T]^T [T] \{\delta_\Gamma^e\} = [E] \{\delta_\Gamma^e\} = \{\delta_\Gamma^e\}, \quad (2.4)$$

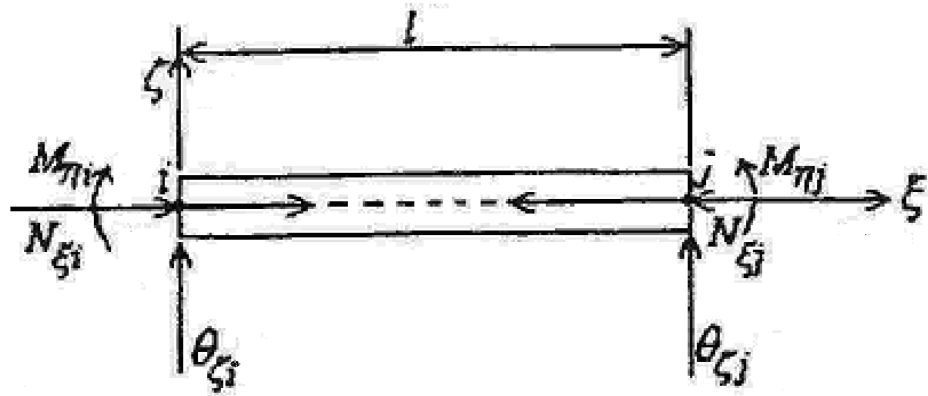
Мұндағы $[T]^T [T] = [E]$, сонда $[E]$ - бірлік матрица.

(2.2) және (2.4) қатынастар глобалды координат жүйесінің белгілі орын ауыстыру векторы арқылы локалды координат жүйесінің орын ауыстыру векторын табуға мүмкіндік береді және керісінше.

Сырықты элементтердегі ішкі күштер

$O_1 \xi \eta$ локалды координат жүйесінде түзу сызықты сырықты “e” элементін қарастырылады. Сыртқы күштер әсерінен элемент ішінде бойлық күш N , көлденең күш Q және июші момент M әсер етеді.[5]

i және j қималарында күштерді сәйкесінше N_i, Q_i, M_i және N_j, Q_j, M_j белгілейді, белгіленген компонент күштерінің оң бағыттары 2.2- суретте көрсетілген.



2.2- сурет - i, j түйіндегі ішкі күштер

Онда $N_i, Q_i, M_i, N_j, Q_j, M_j$ локальды координат жүйесінде “e” есептеуші элементтің i, j түйіндеріндегі күштік параметрлер болып табылады және векторлық мәндер енгізіледі.

$$\{f^e\} = (N_i, Q_i, M_i, N_j, Q_j, M_j) \quad (2.5)$$

Элементке сыртқы қарқындылығы q_ξ, q_η таралған күштер және моменттік жүктеме m әсер етсін. Сонда “e” элементтің тепе-теңдік теңдеуі мына түрде жазылады:

$$\begin{aligned} \frac{dN}{d\xi} + q_\xi &= 0, \\ \frac{dM}{d\xi} - Q_\eta &= 0, \\ \frac{dQ}{d\xi} + q_\eta &= 0, \end{aligned} \quad (2.6)$$

Сырықты “e” элементтің күштік сипаттамалары мен түйіндегі кинематикалық сипаттамалар арасындағы байланыс

Сыртқы күштер N, Q және июші момент M әсерінен “e” элементтің кез-келген нүктесінде ε_ξ бойлық деформация, ось қисығы $\bar{\chi}$ және бұралу бұрышы χ белгіленеді және олар u, v және ϕ кинематикалық сипаттамалар арқылы былай жазылады.

$$\begin{aligned}
\varepsilon_{\xi} &= \frac{du}{d\xi}, \\
\overline{\chi} &= \frac{d^2 v}{d\xi^2}, \\
\chi &= \frac{d\varphi}{d\xi},
\end{aligned}
\tag{2.7}$$

Гуктың жалпылама заңының теңдеуі деформация ε_{ξ} , бұрылу бұрышы $\overline{\chi}$, ығысу χ және бойлық күш N , көлденең күш Q және июші момент M арасындағы байланыс былай жазылады:

$$\begin{aligned}
N &= EF \varepsilon_{\xi} = EF \frac{du}{d\xi}, \\
Q &= EJ_{\chi} = EJ \frac{d\varphi}{d\xi}, \\
M &= EJ_y \overline{\chi} = EJ_y \frac{d^2 v}{d\xi^2},
\end{aligned}
\tag{2.8}$$

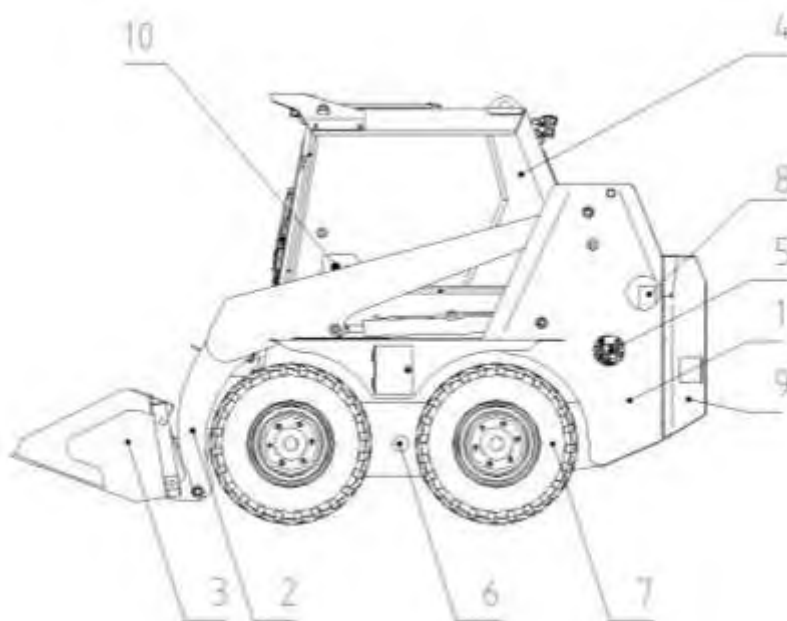
Мұнда E , G - “ e ” элемент материалының ығысу және Юнг модулі; F және J_y - көлденең қиманың ауданы және көлденең қиманың инерция моменті.

$[K]$ – 6 ретті квадраттық матрица, $[K]$ тұрақты көлденең қимасы бар есептеуші түзу сызықты сырықты “ e ” элементтің қатаңдық матрицасы деп аталады[6]

$$[K] = \begin{bmatrix} \frac{EF}{l} & 0 & 0 & -\frac{EF}{l} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12EJ_y}{l^3} & -\frac{6EJ_y}{l^2} & 0 & \frac{12EJ}{l^3} & -\frac{6EJ_y}{l^2} \\ 0 & \frac{6EJ_y}{l^2} & \frac{4EJ}{l} & 0 & -\frac{6EJ}{l^2} & \frac{2EJ_y}{l} \\ -\frac{EF}{l} & 0 & 0 & \frac{EF}{l} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12EJ}{l^3} & \frac{6EJ}{l^2} & 0 & -\frac{12EJ}{l^3} & \frac{6EJ}{l^2} \\ 0 & \frac{6EJ}{l^2} & \frac{2EJ}{l} & 0 & -\frac{6EJ_y}{l^2} & \frac{4EJ_y}{l} \end{bmatrix}
\tag{2.9}$$

3 Жүк тиегіш механизмнің орнықтылығын есептеу

Жүк тиегіш құрылғылары қазіргі таңда өндірісте, шаруашылықта үлкен сұранысқа ие машиналардың бірі болып табылады. 3.1 - суретте раманың артқы бөлігінде, жоғарғы жағында 3 ауысымдық жұмыс органы үшін жылдам қысқыш құрылғысы бар 2 қорапты конструкциялы жұмыс жабдығының жебесін бұрау мүмкіндігімен бекітілген орналасқан. Бұл жерлерде, сондай-ақ бұрылу мүмкіндігі 4 кабинасының артқы бөлігі бекітіледі, сондықтан оны кері бұруға болады. Кабинаның алдыңғы бөлігі жұмыс жағдайында рамаға кабина бұрыштары бойынша екі бұрандамамен бекітіледі.



3.1-сурет – Жүк тиегіш машинасы

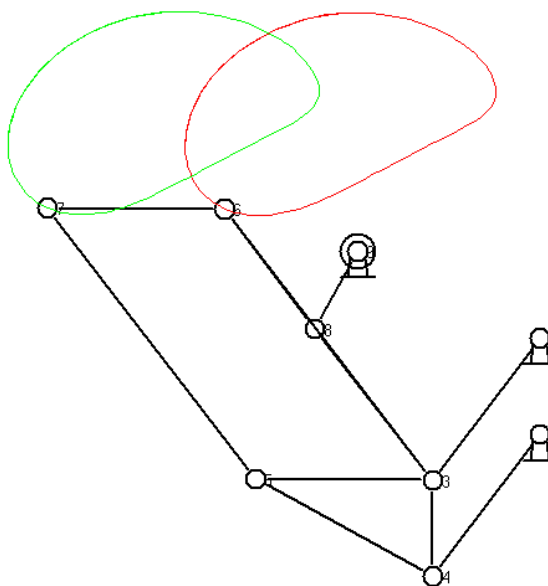
Жүріс бөлігінің қозғалысы тікелей дизельдік қозғалтқышқа бекітілетін екі гидронасосармен қамтамасыз етіледі. Осы гидронасосар 6 жүріс бөлігінің беріліс қорапшалары корпустарының алдыңғы бөліктерінде бекітілетін жүріс гидромоторларын қозғалысқа келтіреді. Осы гидромоторлармен қозғалысқа келтірілетін жүріс бөлігінің бүйірлік беріліс қораптары алдыңғы және артқы дөңгелектердің тұрақты қозғалысын қамтамасыз етеді 7. 8 жұмыс сұйықтығының және қозғалтқыштың салқындатқыш сұйықтығының құрама радиаторы қозғалтқыш алдында орналасқан және 9 тиегіштің артқы есігін ашқаннан кейін қол жетімді болады. Отын бағы сол жағында орналасқан, ал қозғалтқыштың оң жағындағы жұмыс сұйықтығының бағы, олар машина рамасына біріктірілген.

Бөлгіш жұмыс сұйықтығының сүзгішінің алдында жүріс бөлігінің оң жағында раманың төменгі жағында орналасқан. Жеке агрегаттарға оңай қол жеткізуді қамтамасыз ету үшін Оператор кабинасы алынып тасталады. Кабина еденнің бір бөлігімен табақ металдан және оператор креслосынан шығып кетеді. Еденнің екінші бөлігі 10 басқару пультімен бірге тиегіш рамасында бекітілген болып қалады.

Доңғалақтар раманың құрамдас бөлігі болып табылатын берілістің бүйір қораптарына бекітіледі. Жылыту агрегаты сол жағынан алда орналасқан. Аккумулятор батареясы тиегіштің оң жағында есігі бар қуыста орналасқан.

Тиегіштің қозғалтқышы бойлық орналасқан және резеңке тіректерге орнатылған. Қозғалтқышқа қол жеткізу артқы есік ашылғаннан кейін артқы жағынан, сондай-ақ кабинаны тастағаннан кейін жоғарыдан қамтамасыз етіледі.

Қозғалтқыш сыналы белдікпен қозғалысқа келтірілетін қозғалтқыш корпусының алдыңғы бөлігінде орнатылған орталықтан тепкіш сорғымен қамтамасыз етілетін тұрақты циркуляциялы сұйықтықпен салқындатылады. 1 жылу алмастырғыштың жоғарғы бөлігінде 2 Құю тығыны, 3 суыту сұйықтығы үшін төгу тығыны сол жағынан жылу алмастырғыштың төменгі бөлігінде орналасқан. Сұйықтықты барлық жүйеден төгу кезінде салқындатқыш сұйықтықты және жылыту радиаторынан (кабинада көтерілген кезде) жүк тиегіштің алдыңғы бөлігінде жүріс гидромоторлары арасында орналасқан кран арқылы төгу қажет. Қозғалтқыштың жұмыс сұйықтығы мен салқындатқыш сұйықтығын салқындату қозғалтқыштың алдындағы артқы есіктің артында орналасқан құрамдастырылған 1 жылу алмастырғышпен қамтамасыз етіледі. Қаралатын есепте созылмалы және геометриялық сипаттамада келесілер қабылданды: $P=120\text{Н}$, $P=160\text{Н}$, $P=100\text{Н}$, $J=1,272 \cdot 10^{-8}\text{см}^4$, $E=2 \cdot 10^5\text{МПа}$. АРМ WinMachine бағдарламалық кешенінде беріктікке есептеу болды, қармағыштың жазық механизмі, бізге белгілі кинематикалық сипаттамалары, 10 мен 16 қимада таралған күштің серпімді буынды механизмнің квазистатикалық кернеулі деформациялы күйіне зерттеу жасалды. [7]



3.2 – сурет – Жүк тиегіш механизмінің есептеу схемасы

L1-3 =	130,00	L2-4 =	130,00	X1 =	120,00	Y1 =	300,00
L3-4 =	70,00	L3-5 =	130,00	X2 =	120,00	Y2 =	230,00
L4-5 =	148,00	L3-6 =	250,00	X3 =	41,44	Y3 =	196,42
L5-7 =	250,00	L6-7 =	130,00	X4 =	41,44	Y4 =	126,42
L6-8 =	109,45	L3-8 =	140,56	X5 =	-88,56	Y5 =	197,16
L8-9 =	64,60	L1-2 =	70,00	X6 =	-111,41	Y6 =	394,25
L1-9 =	147,94	L2-9 =	188,82	X7 =	-241,41	Y7 =	394,99
L1-8 =	165,46	L1-6 =	249,87	X8 =	-45,31	Y8 =	307,02
L2-3 =	85,43	L5-6 =	198,41	X9 =	-13,69	Y9 =	363,35

3.3-сурет – Түйіндердің координаталары және буындардың ұзындықтары

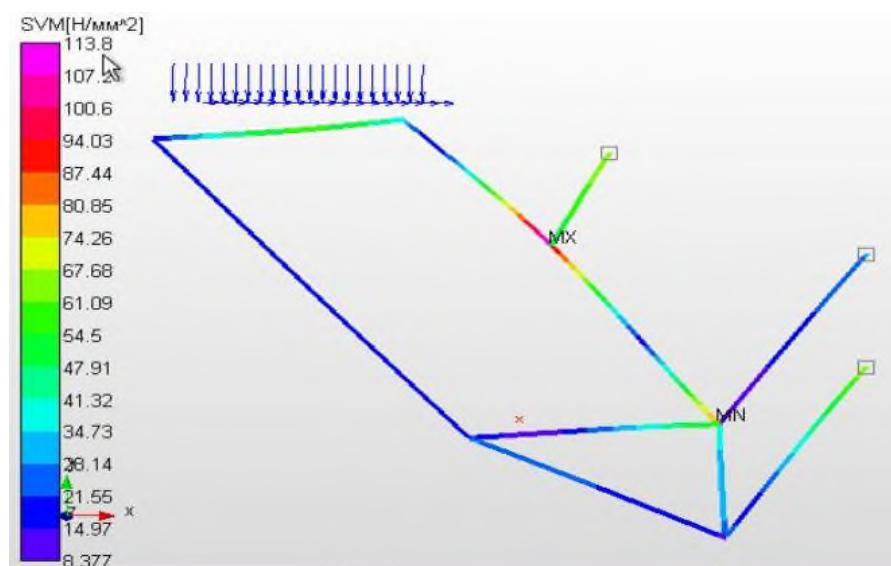
3.1 Жүк тиегіш механизмнің орналасу күйіне байланысты кернеулі-деформациялы күйі

APM WinMachine бағдарлама жүйесінде есептеу нәтижесінде келесі нәтижелер алынған.

Конструкцияның сырықты элементтерінде пайда болған кернеулер, орын ауыстырулар, орнықтылығын жоғалту формасы әр түрлі түспен көрсетілген.

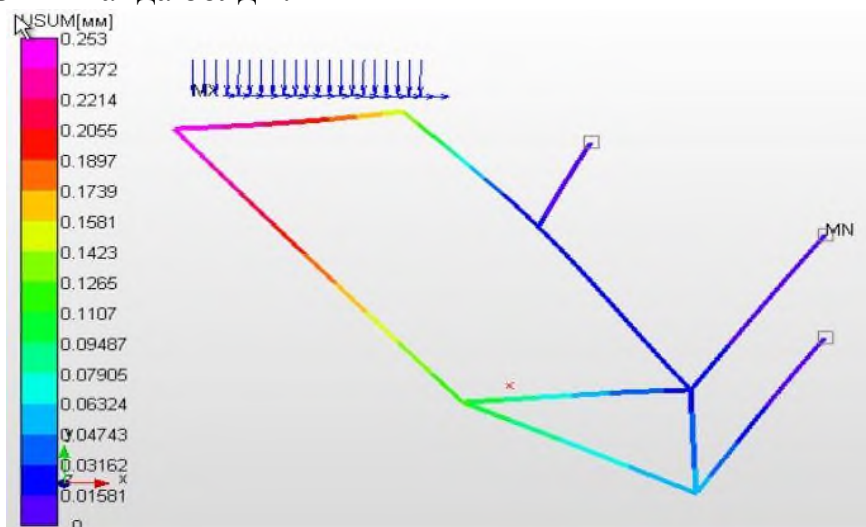
1 күй:

3.4-суретте - Жүк тиегіш механизмнің элементтерінде пайда болған эквивалентті кернеу көрсетілген. Механизм 1 орналасу күйінде $P=120\text{H}$ таралып түсірілген күштің әсерінен ең үлкен кернеу 8 элементте 114 МПа тең. Ең аз кернеу 8,377 МПа тең.[8]



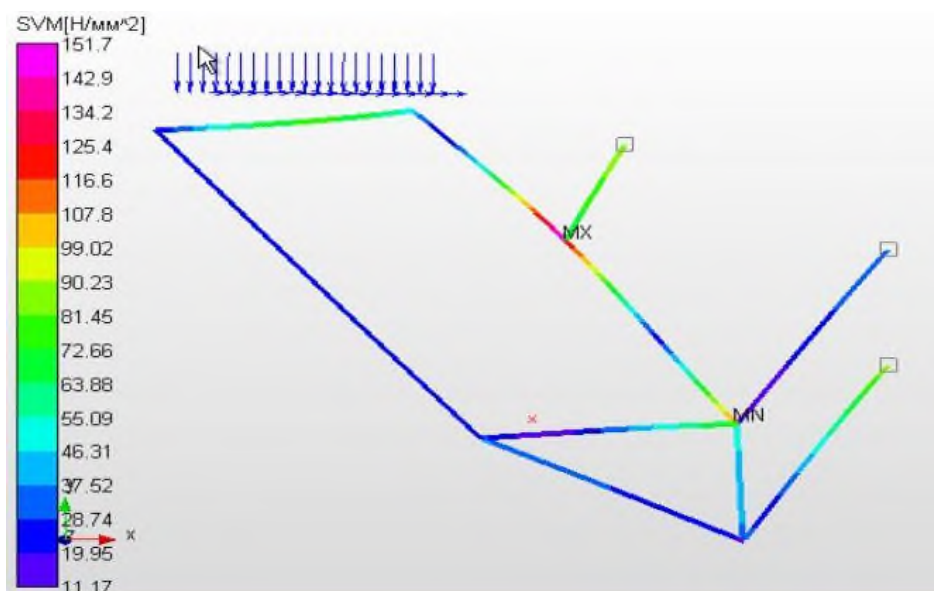
3.4 - сурет - Механизмнің элементтерінде пайда болған эквивалентті кернеу. Күш 7 және 6 қимаға түсірілген, $P=120\text{H}$

3.5-суретте - Жүк тиегіш механизмнің буындарында $P=120\text{H}$ күш түскенде пайда болған орын ауыстыру көрсетілген. Ең үлкен орын ауыстыру 7 түйінде $0,253\text{ мм}$ пайда болды.



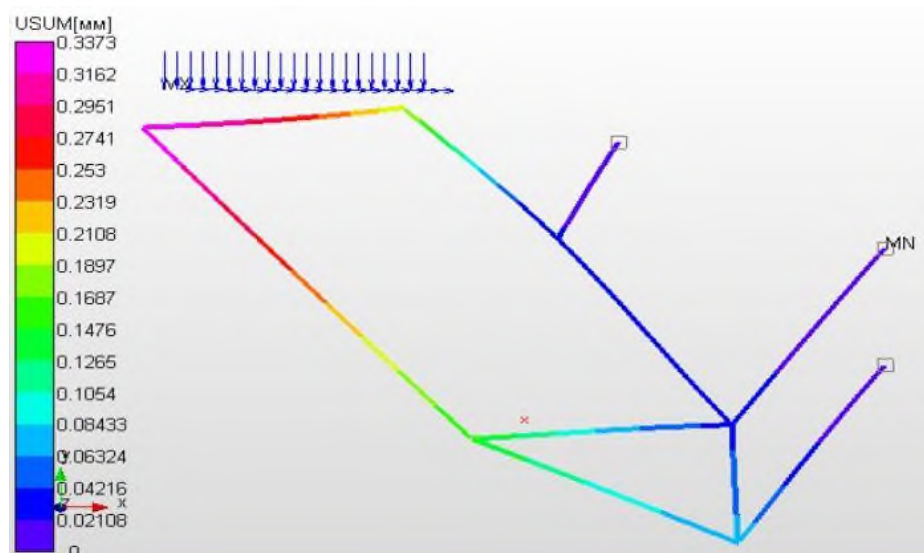
3.5-сурет - Жүк тиегіш механизмнің буындарында пайда болған орын ауыстыру

3.6-суретте - Жүк тиегіш механизмнің элементтерінде пайда болған эквивалентті кернеу көрсетілген. Механизм 1 орналасу күйінде $P=160\text{H}$ таралып түсірілген күштің әсерінен ең үлкен кернеу 8 элементте $151,7\text{ МПа}$ тең. Ең аз кернеу $11,17\text{ МПа}$ тең.



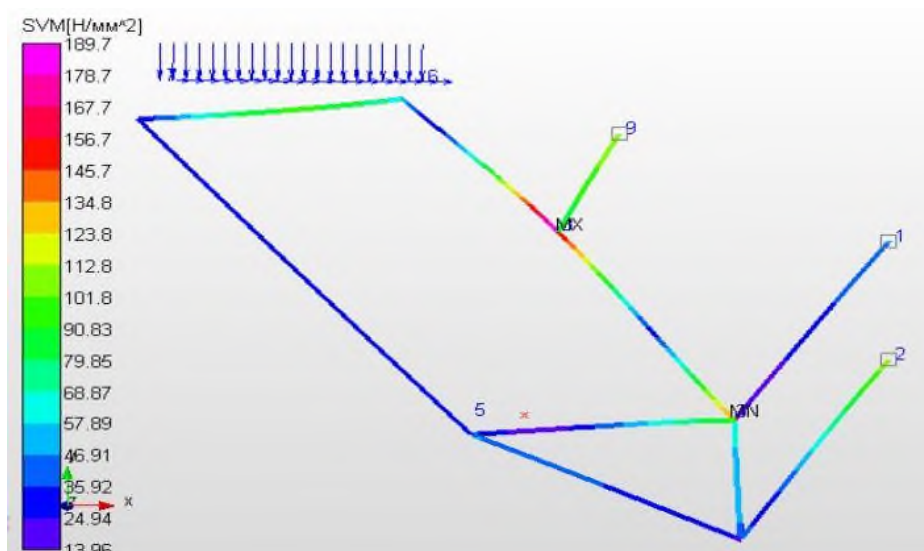
3.6-сурет - Жүк тиегіш механизмнің элементтерінде пайда болған эквивалентті кернеу. Күш 7 және 6 қимаға түсірілген, $P=160\text{H}$

3.7-суретте - Жүк тиегіш механизмнің буындарында $P=160\text{H}$ күш түскенде пайда болған орын ауыстыру көрсетілген. Ең үлкен орын ауыстыру 7 түйінде $0,3373\text{ мм}$ пайда болды.



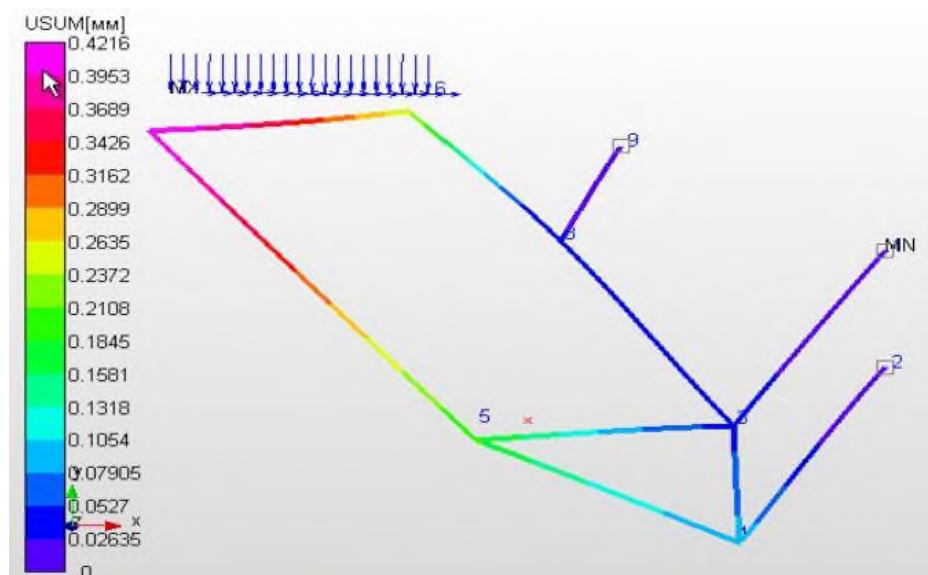
3.7-сурет - Манипулятор құрылғышының буындарында пайда болған орын ауыстыру

3.8-суретте - Жүк тиегіш механизмнің элементтерінде пайда болған эквивалентті кернеу көрсетілген. Механизм 1 орналасу күйінде $P=200\text{H}$ таралып түсірілген күштің әсерінен ең үлкен кернеу 8 элементте 198.7 МПа тең. Ең аз кернеу $1,3\text{ МПа}$ тең.



3.8-сурет – Жүк тиегіш механизмнің элементтерінде пайда болған эквивалентті кернеу. Күш 7 және 6 қимаға түсірілген, $P=200\text{H}$

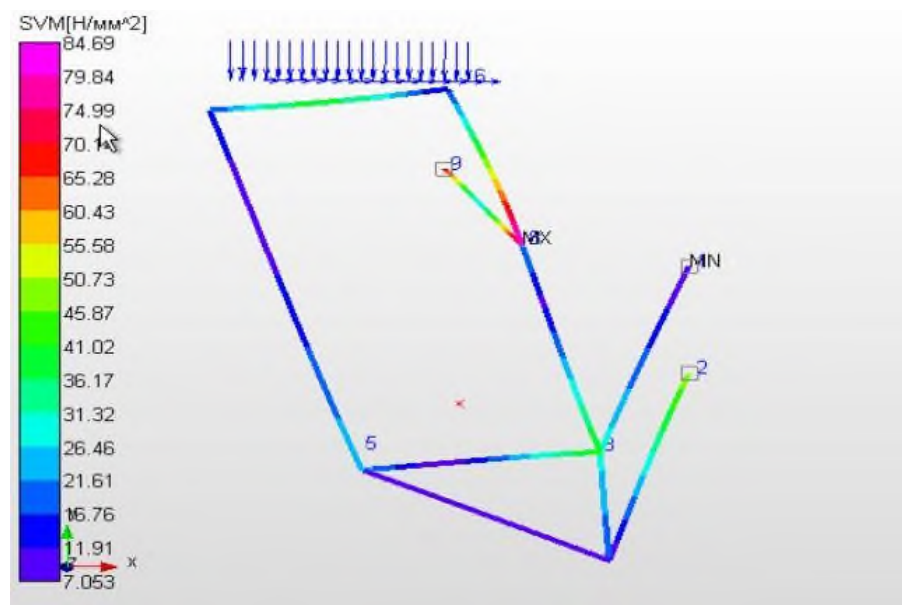
3.9-суретте - Жүк тиегіш механизмнің буындарында $P=200\text{H}$ күш түскенде пайда болған орын ауыстыру көрсетілген. Ең үлкен орын ауыстыру 7 түйінде $0,4216\text{ мм}$ пайда болды.



3.9-сурет – Жүк тиегіш механизмнің буындарында пайда болған орын ауыстыру

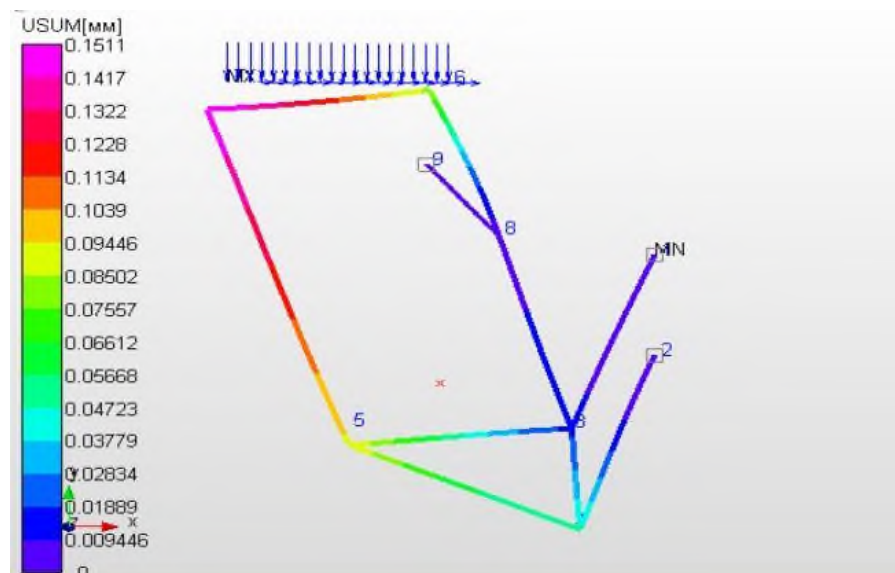
2 күй:

3.11-суретте - 2 күйдегі элементтерде кернеу 8 түйінге түскені көрініп тұр. Ең үлкен шамасы 84.69 МПа тең, ал ең кішісі 7,053 МПа.



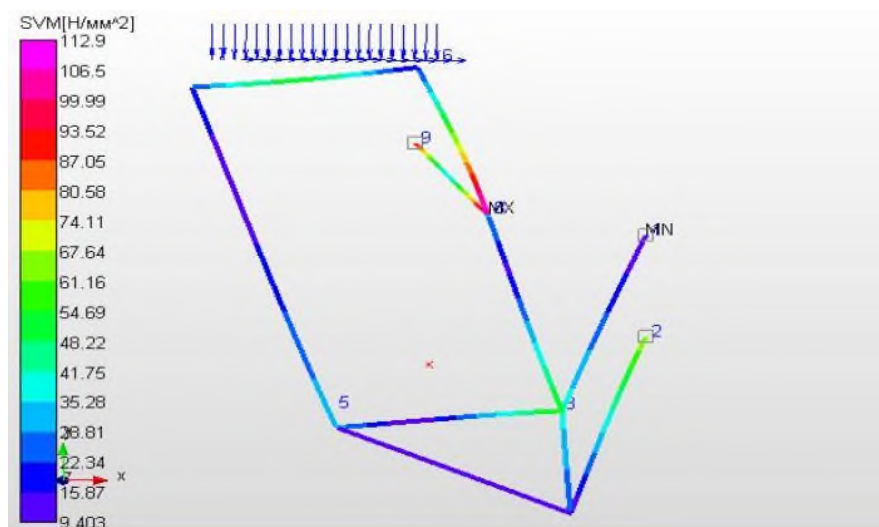
3.11-сурет - 2 күйдегі элементтерде пайда болған эквивалентті кернеу. Күш 7 және 6 қимаға түсірілген, $P=120\text{H}$

3.12суретте - 2 күйдегі элементтерге $P=120\text{H}$ күш түскенде пайда болған орын ауыстыру көрсетілген. Ең үлкен орын ауыстыру 7 түйінде 0,1511 мм болды.



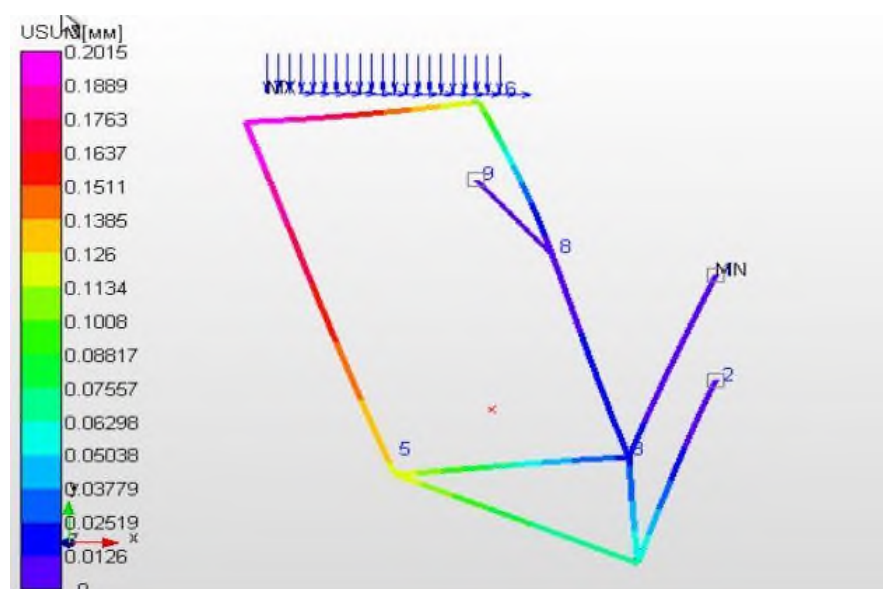
3.12-сурет – Жүк тиегіш механизмнің буындарында пайда болған орын ауыстыру

3.13-суретте - 2 күйдегі элементтерде кернеу 8 түйінге түскені көрініп тұр. Ең үлкен мәні 112,9 МПа тең, ал ең кішісі 9,403 МПа.



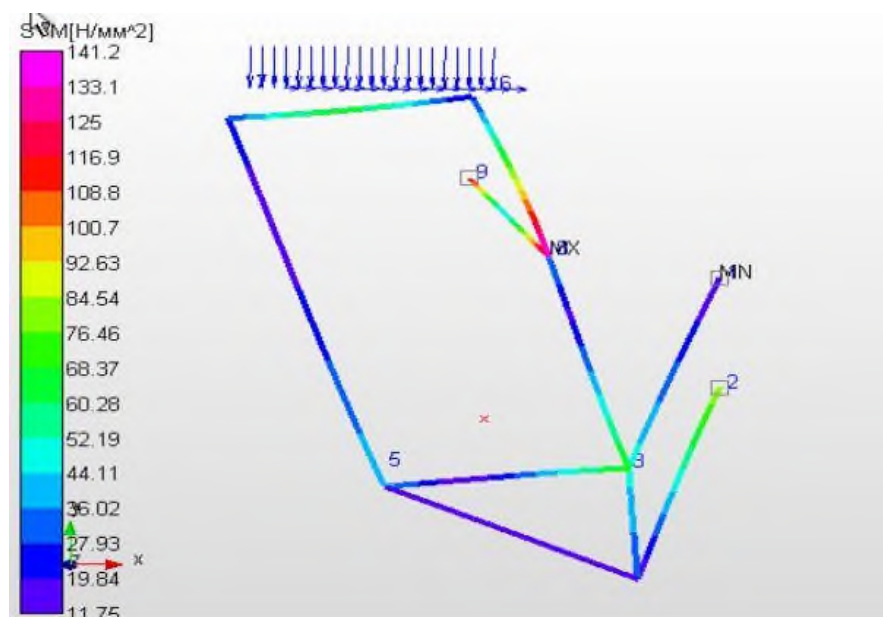
3.13-сурет - 2 күйдегі элементтерде пайда болған эквивалентті кернеу. Күш 7 және 6 қимаға түсірілген, $P=160\text{H}$

3.14-суретте - 2 күйдегі элементтерге $P=160\text{H}$ күш түскенде пайда болған орын ауыстыру көрсетілген. Ең үлкен орын ауыстыру 7 түйінде 0,2015 мм болды.



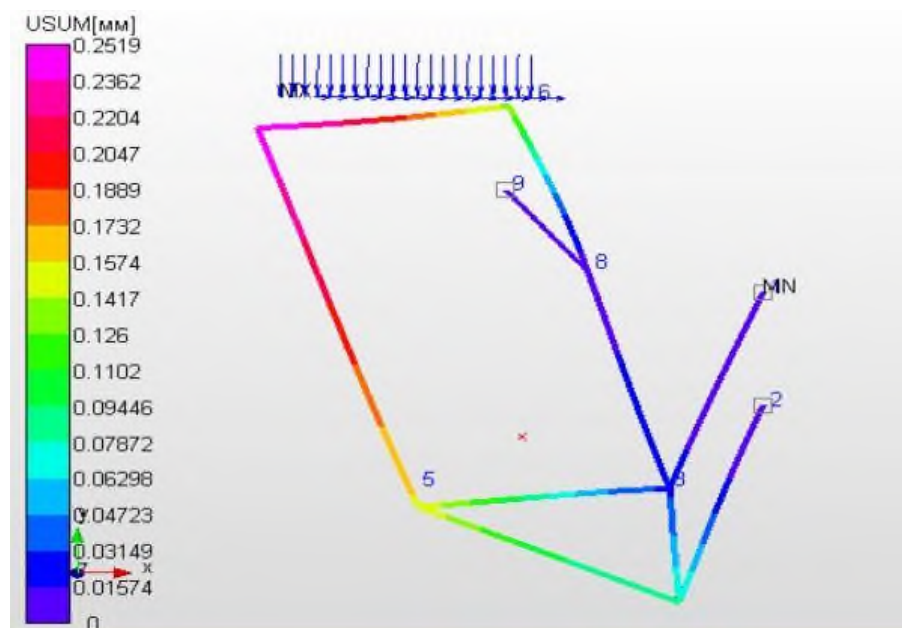
3.14-сурет – Жүк тиегіш механизмнің буындарында пайда болған орын ауыстыру

3.15-суретте - 2 күйдегі элементтерде кернеу түйінге түскен. Ең үлкен мәні 141,2 МПа тең, ал ең кішісі 11,75 МПа.



3.15-сурет - 2 күйдегі элементтерде пайда болған эквивалентті кернеу. Күш 7 және 6 қимаға түсірілген, $P=200\text{H}$

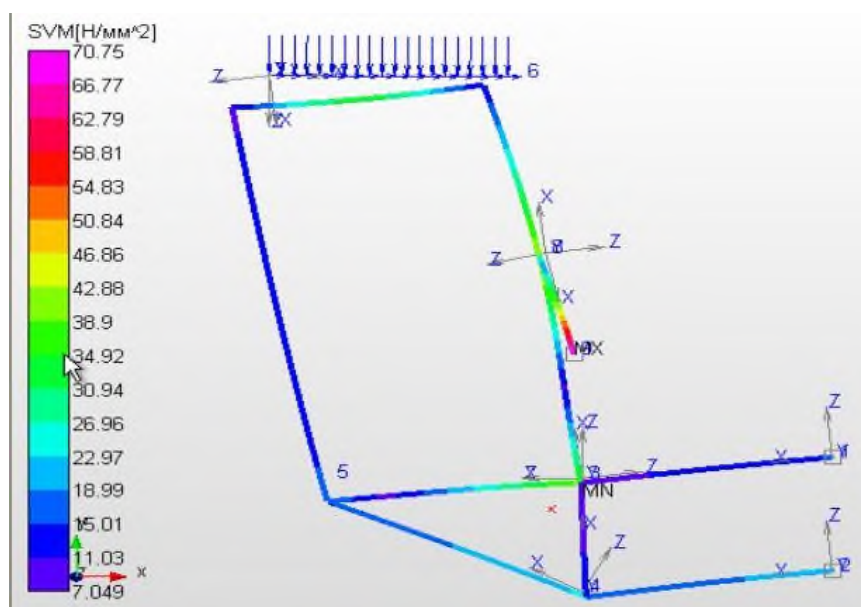
3.16-суретте - 2 күйдегі элементтерге $P=200\text{H}$ күш түскенде пайда болған орын ауыстыру көрсетілген. Ең үлкен орын ауыстыру 7 түйінде 0,2519 мм болды.



3.16-сурет – Жүк тиегіш механизмнің буындарында пайда болған орын ауыстыру

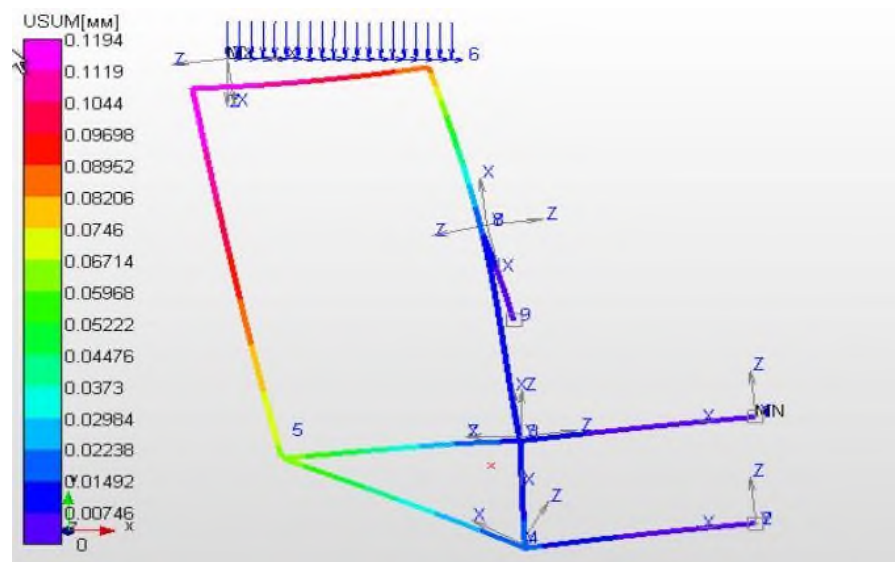
3 күй:

3.17-суретте - 3 күйдегі элементтерде кернеу 9 түйінге түскен. Ең үлкен мәні 70,75 МПа тең, ал ең кішісі 7,049 МПа.



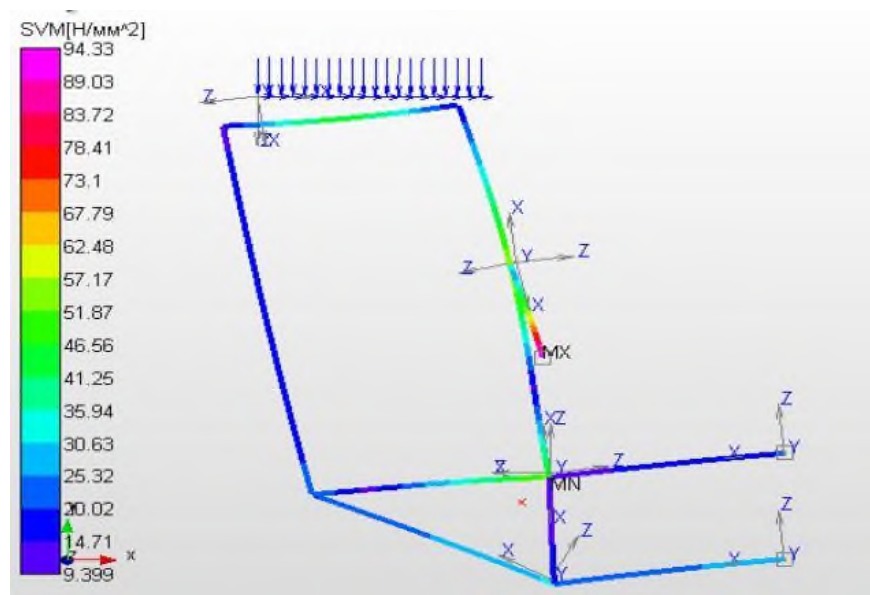
3.17-сурет - 3 күй, эквивалентті кернеу. $P=120\text{H}$

3.18-суретте - 3 күй, $P=120\text{H}$ күш түскенде пайда болған орын ауыстыру. Ең үлкен орын ауыстыру 7 түйінде 0,1194 мм болды.



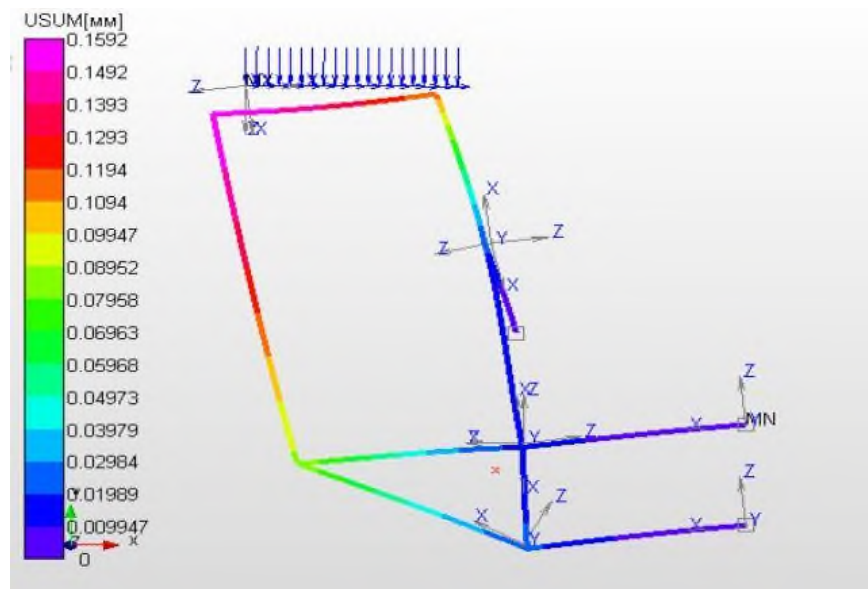
3.18-сурет – Жүк тиегіш механизмнің буындарында пайда болған орын ауыстыру

3.19-суретте - 3 күйдегі элементтерде кернеу 9 түйінге түскен. Ең үлкен мәні 94,33 МПа тең, ал ең кішісі 9,399 МПа.



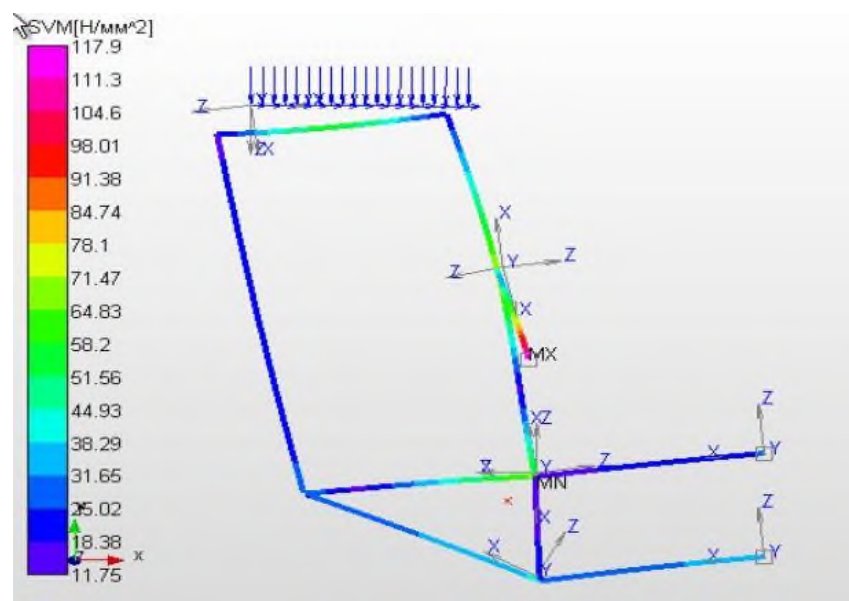
3.19-сурет - 3 күй, эквивалентті кернеу. $P=160\text{H}$

3.20-суретте - 3 күй, $P=160\text{H}$ күш түскенде пайда болған орын ауыстыру. Ең үлкен орын ауыстыру 7 түйінде 0,1592 мм болды.



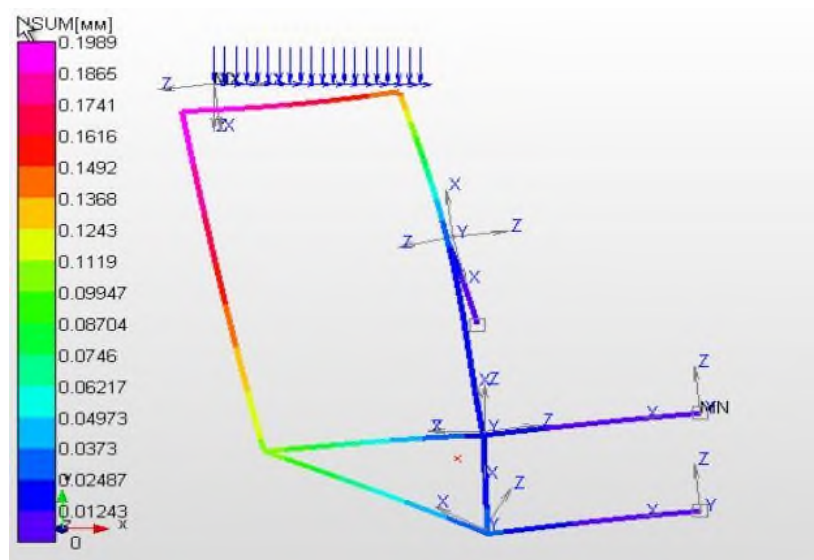
3.20-сурет – Жүк тиегіш механизмнің буындарында пайда болған орын ауыстыру

3.21-суретте - 3 күйдегі элементтерде кернеу 9 түйінге түскен. Ең үлкен мәні 117,9 МПа тең, ал ең кішісі 11,75 МПа.



3.21-сурет - 3 күй, эквивалентті кернеу. $P=200\text{H}$

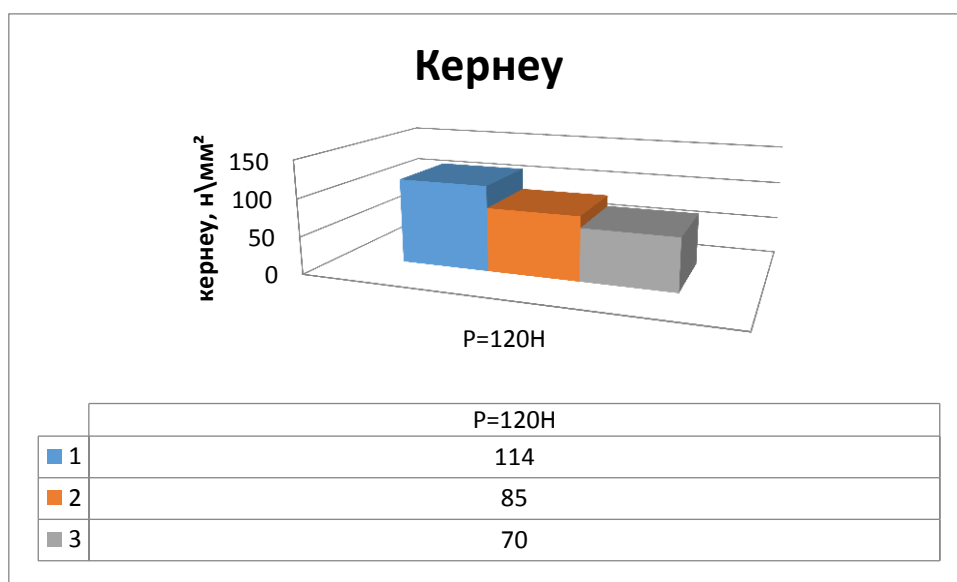
3.22-суретте - 3 күй, $P=200\text{H}$ күш түскенде пайда болған орын ауыстыру. Ең үлкен орын ауыстыру 7 түйінде 0,1989 мм болды.



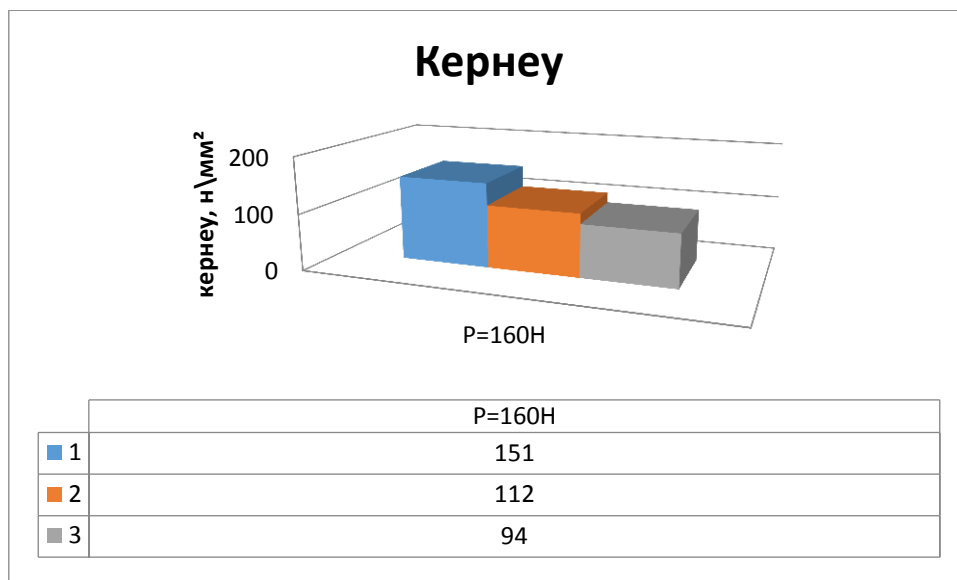
3.22-сурет – Жүк тиегіш механизмнің буындарында пайда болған орын ауыстыру

3.2 Қысқаша қорытынды

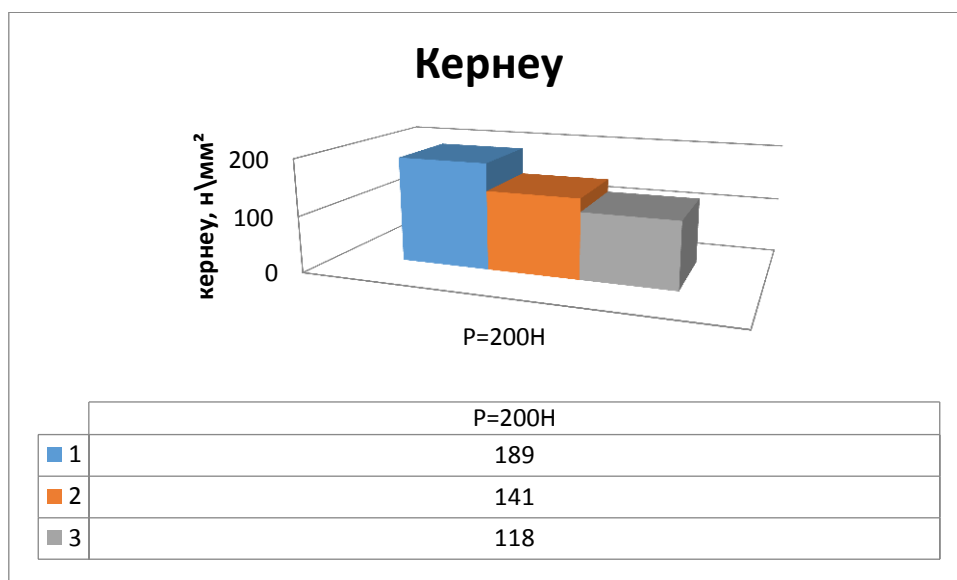
Беріктік пен орнықтылықтың ең үздігіне жету үшін, тағы бір қатар есептеулер жасалды. Тұрақты көлденең қима беріп, тек сырқы күштер өзгертілді. 3 күйдің кернеулері мен орын ауыстырудың 3.23-3.25 суреттерден көруге болады.[9]



3.23-сурет - P=120 Н күш бергенде алынған кернеу диаграммасы



3.24-сурет - P=160 Н күш бергенде алынған кернеу диаграммасы



3.25-сурет - P=200 Н күш бергенде алынған кернеу диаграммасы

ҚОРЫТЫНДЫ

Шекті элементті модельдеу арқылы жазық және кеңістік механизмдердің серпімді квазистикалық кернеулі-деформациялы күйінің теориялық зерттеу жүргізілді. Жүргізілген зерттеулердің негізгі нәтижелері:

- Ең үлкен эквивалентті кернеу жүк тиегіш механизмнің бірінші орналасу күйінде 189 МПа тең болды
- Механизм өзінің бірінші орналасу күйінде орнықты. Ең үлкен орын ауыстыру 1 орналасу күйінде 0,253 мм тең болды
- Жасалған есептеулер бойынша жүк тиегіш механизмнің тиімді жұмыс істеу параметрлері тандап алынды

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 Жүнісбеков С. Материалдар кедергісі. –Алматы: Бастау, 2011. - 364 б.
- 2 Александров А.В., Потапов В.Д., Державин В.П. Сопротивление материалов: Учеб.для вузов. - М.: Высш.шк., 2004. -560 с.
- 3 Программный комплекс АРМ WinMachine, - М.: Научно-технический центр АПМ.
- 4 Секулович М. Метод конечных элементов, - М.: Стройиздат., 1993.
- 5 Галлагер Р. Метод конечных элементов. Основы, - М.: Мир, 1984, 428 с.
- 6 Мяченков В.И. и др. Расчеты машиностроительных конструкций методом конечных элементов: справочник., -М.: Машиностроение», 1989.
- 7 Крайнев А.Ф. Словарь-справочник по механизмам, - М.: Машиностроение,- 1987. –560 с.
- 8 Масанов Ж.К., Сартаев К.З., Абдраимова Г.А. и др. Квазистатика, устойчивость и динамика упругих пространственных механизмов. // Монография. - Алматы: ИММаш им. академика У.А.Джолдасбекова, 2015г. -288 с.
- 9 Джамалов Н.К. AVTAN. Компьютерная программа. Свидетельство о регистрации интеллектуальной собственности №37 от 28.06.01.