

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ



SATBAYEV
UNIVERSITY

Ә. Бүркітбаев атындағы Өнеркәсіптік автоматтандыру және цифрлау институты

«Роботтытехника және автоматиканың техникалық құралдары» кафедрасы

Нуржекеева Меруерт Дауренқызы

«Белсенді экзоскелетті басқару жүйесін жобалау»

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

5B071600 – Аспап жасау мамандығы

Алматы 2020



SATBAYEV
UNIVERSITY

Ә. Бүркітбаев атындағы Өнеркәсіптік автоматтандыру және цифрлау институты

«Роботтытехника және автоматиканың техникалық құралдары» кафедрасы

ҚОРҒАУҒА РҰҚСАТ

РТжАТҚ кафедра меңгерушісі

техника ғылым кандидаты



Қ.А. Ожикенов
«24» мамыр 2020 ж.

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

Тақырыбы: «Белсенді экзоскелетті басқару жүйесін жобалау»

5B071600 – Аспап жасау мамандығы бойынша

Орындады

Нуржекеева Меруерт

Ғылыми жетекшісі
Физ.-мат.ғыл.канд.,
қауымдастырылған профессор

Алдияров Н.У.

« 23 » мамыр 2020 г.

Алматы 2020



SATBAYEV
UNIVERSITY

Ә. Бүркітбаев атындағы Өнеркәсіптік автоматтандыру және цифрлау институты

«Роботтытехника және автоматиканың техникалық құралдары» кафедрасы

5B071600 – Аспап жасау

БЕКІТЕМІН

РТжАТҚ кафедра меңгерушісі
техника ғылым кандидаты



Қ.А. Ожикенов
«23» қантар 2020 ж.

ТАПСЫРМА

дипломдық жұмысты орындауға

Білім алушыға Нуржекеева Меруерт Дауренқызы

Тақырыбы: Белсенді экзоскелетті басқару жүйесін жобалау

Университет ректорының бұйрығымен бекітілген №726-б «27» қантар 2020 г.

Аяқталған жұмысты тапсыру мерзімі «15» мамыр 2020 ж.

Дипломдық жұмыстың бастапқы мәліметтері: қолдануға ыңғайлы гидрожетек моделін құрастыру болып табылады. Simulink бағдарламасын қолдана отырып, басқару моделін және бағдарламасын жасау.

Дипломдық жұмыста әзірленуге жататын мәселелер тізімі:

- а) Экзоскелетке тиімді гидрожетекті модельдеу;
 - б) MatLab, MathCad бағдарламаларында гидрожетектің параметрлерін анықтап, құрастыру;
 - в) Орындаушы механизмнің гидравликалық сұлбасын құрастыру;
 - г) Есептеулер негізінде гидрожетектің өтпелі процесстер сипаттамасын алу;
- Графикалық материалдың тізбегі (міндетті сызбаларды дәл көрсете отырып):
10 слайд

Ұсынылатын негізгі әдебиеттер: 20 әдебиеттер тізімі


Дипломдық жобаны дайындау

КЕСТЕСІ

Бөлімдер атауы, әзірленетін сұрақтар тізбесі	Ғылыми жетекшіге ұсыну мерзімдері	Ескертпелер
Теориялық бөлім	22.01 – 15.02.2020 ж.	Орындалды
Есептеу бөлімі	22.01 – 15.02.2020 ж.	Орындалды
Бағдарламалық бөлім	15.03 – 20.04.2020 ж.	Орындалды
Зерттеу бөлімі	15.03 – 20.04.2020 ж.	Орындалды
Қорытынды бөлім	15.03 – 20.04.2020 ж.	Орындалды

Аяқталған дипломдық жобаға және оған қытысты бөлімдерінің кеңесшілері мен қалып бақылаушының

ҚОЛТАҢБАЛАРЫ

Бөлімдердің атауы	Ғылыми жетекшілер, кеңесшілер, (аты-жөні, тегі, ғылыми дәрежесі, атағы)	Қол қойылған күні	Қол
Қалып бақылаушы	Ж.С.Бигалиева, техника ғылымдары магистрі, лектор	23.05.2020 ж.	

Ғылыми жетекшісі



Алдияров Н.У.

Тапсырманы орындауға алған білім алушы



Нуржекеева М.Д.

Күні «23» мамыр 2020 ж.

АНДАТПА

Қазіргі таңда экзоскелеттер жұлынның түрлі ауруларына, инсультқа, неврологиялық аурулардың оңалтуына қажет негізгі тиімді құрал болып есептеледі. Менің дипломдық жұмысымда аяқ және бел буындарын қозғалтуға арналған жаттығуларда қолданылатын экзоскелеттің басқару алгоритмін жасау үшін қолданылатын гидрожетекті моделдеу және басқару сипаттамаларын алу жайында айтылады. Арнайы жаттығулар үшін, экзоскелеттің бірнеше басқару стратегиясын қарастыруымыз қажет. Адамның қимылын және орындаушы механизмнің жұмысына әсер ететін факторларды ескере отырып, қолданысқа тиімді құралды құрастыру негізгі мәселелердің бірі болып отыр. Мұндай қадам, медицина және ғылымға үлкен үлесін қосады.

АННОТАЦИЯ

В настоящее время экзоскелеты считаются наиболее эффективным средством для реабилитации различных заболеваний спинного мозга, позвоночника, неврологических заболеваний и нижних конечностей. В моей дипломной работе описывается моделирование гидропривода и получение управленческих сигналов для создания алгоритма управления экзоскелетом, который применяется при перемещении ног и поясничного сустава. Для специальных упражнений применяются разные стратегии алгоритма управления экзоскелетом. Одной из основных проблем является создание эффективного прибора для применения, с учетом факторов влияющих на работу исполнительного механизма и движения человека. Такой шаг вносит большой вклад в развитие медицины и науки.

ABSTRACT

Currently exoskeletons are considered the most effective devices for the rehabilitation of various diseases of the spinal cord, spine, neurological disease and lower extremities. In this work, we are talking about modeling a hydraulic drive and obtaining management characteristics used to develop an exoskeleton control algorithm used in exercises for moving the legs and lumbar joint. For special exercises, we should consider several strategies for managing the exoskeleton. One of the main problems is to create an effective tool for application, taking into account the factors that affect the work of the Executive mechanism and human movement. This step makes a great contribution to science and medicine.

МАЗМҰНЫ

Кіріспе

1	Орындаушы механизмнің аяқ кинематикасын талдау	11
1.1	Адам санының қозғалысын зерттеу	11
1.2	Бұлшық еттің бұрылуы/қалпына келуі	12
1.3	Орта айналу/бүйір айналу	12
1.4	Экзоскелеттің атқарушы механизмінің жиынтық	13
1.5	Экзоскелеттің кинематикалық схемасының қабылданған нұсқасы	14
2	Гидроцилиндр есебі. Гидрожетектің параметрлерін есептеу	16
2.1	Орындаушы механизмнің жүктеме диаграммасын құрастыру	16
2.2	Жүктің вертикалды орын ауыстыруының, жүктеме иінінің және бөліктің жалпыланған координатасының мәнінің байланысын анықтау	17
2.3	Жүктеме диаграммасын құру үшін алынған бастапқы деректер	18
2.4	Жүру процесінде бөліктегі бұрышының өзгеру жағдайы үшін атқару механизмінің жүктеме диаграммасын құру	20
2.5	ОМ сыртқы механикалық сипаттамасын жасау	22
2.6	Гидрожетектің жүктеме диаграммасын құру	23
2.7	Гидроцилиндрді есептеу үшін бастапқы деректерді алу	25
2.8	Гидроцилиндр параметрлерін есептеу	26
2.8.1	Гидроцилиндрдің тиімді ұзындығын табу	26
2.8.2	Гидроцилиндрдің тиімді диаметрін табу	29
2.8.3	Гидроцилиндрдің штогының тиімді диаметрін табу	29
2.8.4	Гидроцилиндрдің тиімді салмағын табу	30
2.8.5	Гидроцилиндр түбтерінің тиімді қалыңдықтарын табу	30
2.8.6	Гидроцилиндр поршенінің тиімді ұзындығын табу	30
2.9	Параметрлерді тексеру және механизмнің конструкциясынескере отырып, гидроцилиндр параметрлерін тағайындау	30
3	Бөлікке әсер ететін күш факторларын анықтау	32
3.1	Сан бөлігінің қозғалысы үшін бұрыштық орын ауыстыру датчигін таңдау	33
4	ОМ гидравликалық сұлбасы	34
5	ОМ бөліктегі ЭГБЖ-тің сызықтық-математикалық моделінің құрастырылуы	35
5.1	ОМ бөліктегі ЭГБЖ-тің сызықтық емес-математикалық моделінің құрасырылуы	39
5.2	Алынған нәтижелердің негізінде гидрожетектің моделін құрастыру	40

Қорытынды

Пайдаланылған әдебиеттер

Қосымша А
Қосымша Б
Қосымша В
Қосымша Г
Қосымша Д
Қосымша Е
Қосымша Ж

КІРІСПЕ

Жұмыстың өзектілігі. Қазіргі таңда аяқ және бел ауруларының көбеюіне байланысты, экзоскелеттердің медицинада қажеттілігі өсті. Соған байланысты, адамның қолдануына ыңғайлы, әрі тиімді аппаратты құрастырудың маңызы артып отыр. Аяқ және бел ауруларын емдеуіндегі негізгі шарт- адам аяғының қозғалысын қайталауы болып есептеледі. Ол қозғалысты қайталау үшін аяққа және буынға бірқалыпты қозғалысты қамтамасыз ету болып табылады. Бірқалыпты қозғалысты қамтамасыз ету үшін, экзоскелетте гидрожетектерді қолдану ыңғайлы болып табылады. Экзоскелетті құрастыруда гидрожетектер аз қолданылғандықтан, қолданысқа тиімді әрі дұрыс гидрожетекті модельдеудің маңызы өте зор. Дайын модельдің негізінде, буынның қозғалысына байланысты өтпелі үрдістерді алу қажет. Өтпелі үрдістер буынның қозғалысын толығымен сипаттайды. Сол үрдістерді ескере отырып, қозғалыс алгоритмдерін құрастырудың және де гидрожетектің дұрыс моделін құрастырудың маңызы өте үлкен.

Жұмыстың негізгі мақсаты болып: белсенді экзоскелеттің кинематикалық сұлбасын ескере отырып, аяқ және бел ауруларын емдеуге және арнайы жаттығулар жасауға арналған құрылғының сан бөлігінің қозғалысының математикалық моделін жасап, басқару алгоритмін құрастыру болып табылады.

Қойылған мақсатқа сәйкес ғылыми жұмыстың негізгі тапсырмалары:

- Адам қолданысы үшін ыңғайлы экзоскелеттің гидрожетегін құрастыру;
- Гидрожетектің жүктеме диаграммасын алу;
- Гидрожетектің өлшемдерін есептеу;
- Гидрожетектің математикалық моделін құрастыру;
- Буынның қозғалысы кезіндегі өтпелі үрдістердің сипаттамасын алу;
- Гидрожетектің моделін құрастыру және жұмыс істеу сипаттамасын алу.

1 Орындаушы механизмнің аяқ кинематикасын талдау

Экзоскелетті құру барысында туындайтын маңызды мәселенің бірі, орындаушы механизмнің кинематикасын талдау. Тапсырманы орындау үшін, ең алдымен, адам кинематикасын және қозғалысын адамның денесінің үлгісі арқылы синтездеу қажет.

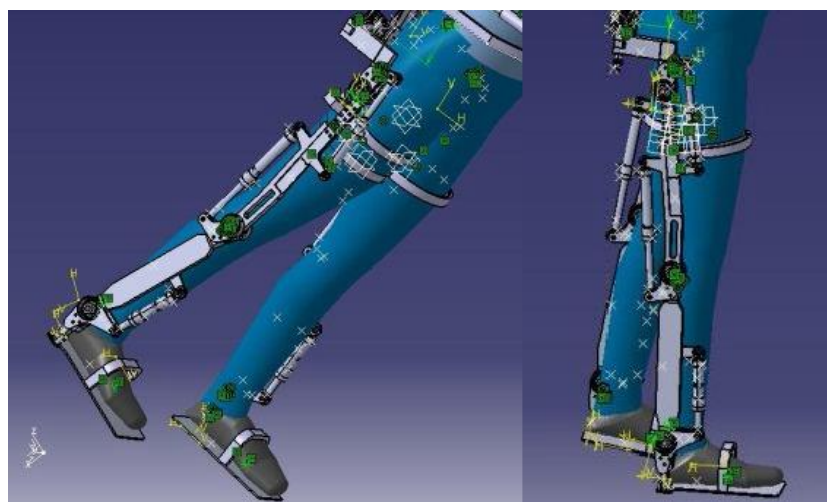
Синтездеудегі ең негізгі шарт-сұлба таңдау. Сұлбаға сәйкес, экзоскелет адамға мүмкіндігінше аз шектеу қою керек, яғни адамның қозғалысына кедергі жасамау керек.

Адам денесінің моделі ретінде Catia (Computer Aided Three-dimensional Interactive Application) бағдарламалық кешенімен ұсынылған модель таңдалды, ол автоматтандырылған жобалау жүйесінде (АЖЖ), "Ergonomics Design & Analysis" Модулінің "Human Activity Analysis" кіші модулінде жұмыс істейді.

Бұл ДК адамның қозғалу дәрежелерінің жеткілікті санын ескереді, сондай-ақ есептеулер негізінде адамның қозғалысының жалпыланған координатасының өзгеру диапазоны мен қозғалысын сипаттап береді.[1]

1.1 Адам санының қозғалысын зерттеу

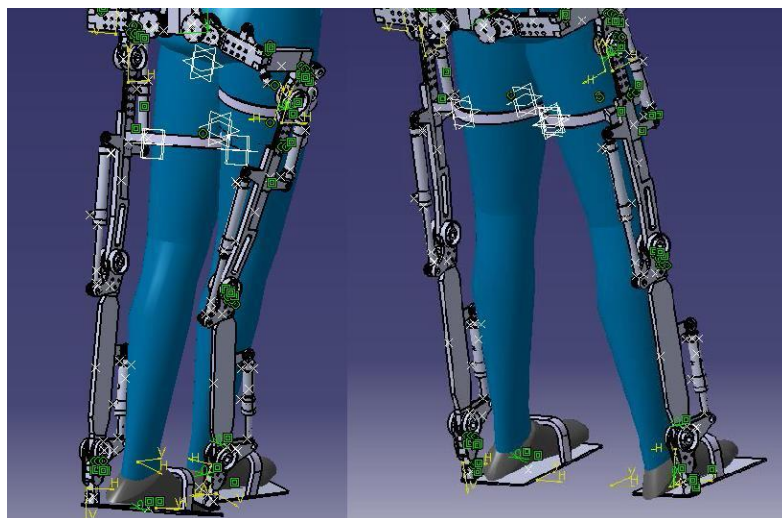
Орындаушы механизммен барлық шектеулерді ескере отырып, -13° тан 11° дейін бүгілу/жазылу қамтамасыз етіледі. Құрылғының қозғалысы мен оранласуы:



1.1 сурет- Бүгілу/жазылу -13° - 11°

1.2 Бұлшық еттің бұрылуы/қалпына келуі

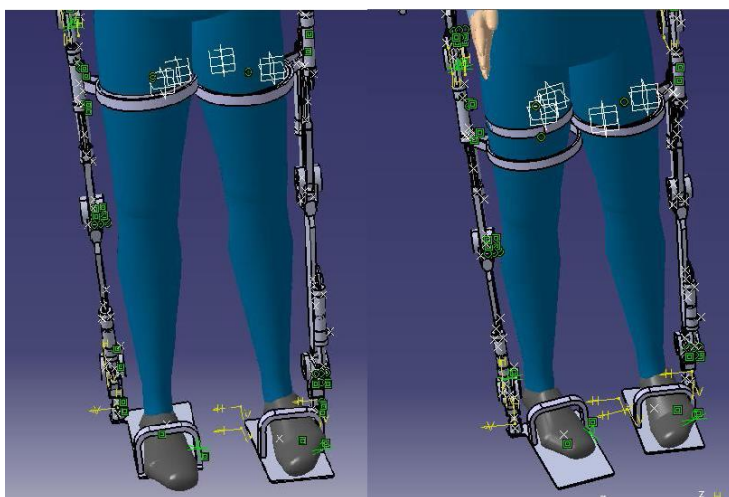
Қозғалыстағы барлық шектеулерді ескере отырып, -13° тан 9° дейін бұлшық еттің бұрылуы/қалпына келуі қамтамасыз етіледі. Орындаушы механизмнің кейбір аралық орналасуларын көрсетеміз.



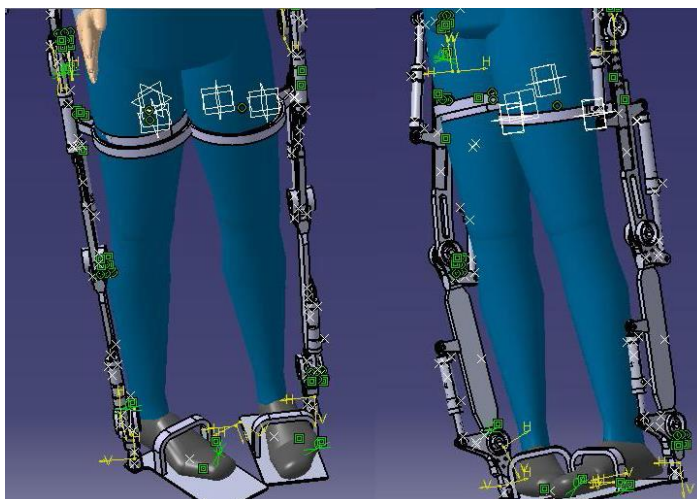
1.2 сурет - Бұлшық еттің бұрылуы/қалпына келуі -13° - 9°

1.3 Орта айналу/бүйір айналу

Орта айналу/бүйір айналуды қамтамасыз ету үшін, механизмге -2° тан 45° дейін қозғалыс қамтамасыз етіледі. Қозғалыстың орналасуы:



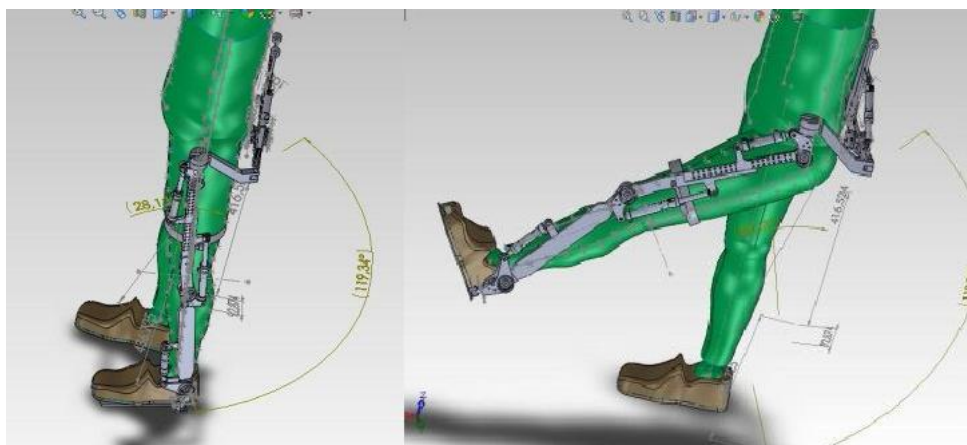
1.3 сурет - Орта айналу/бүйір айналу -2° - 10°



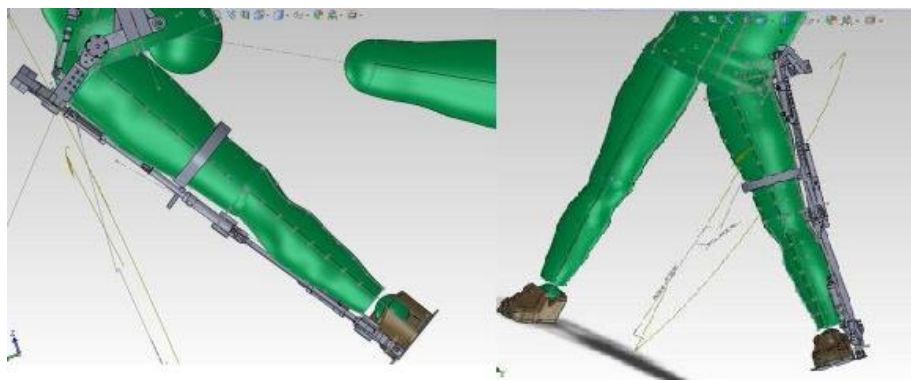
1.4 сурет - Орта айналу/бүйір айналу 30° - 45°

1.4 Экзоскелеттің атқарушы механизмінің жиынтық координаттарының өзгеру диапазонын алу

САТІА жүргізілген тәжірибелердің нәтижесінде, қарастырылып отырған есептеу жүйесінде кемшіліктері анықталды. Сондықтан, қосымша SolidWorks ДК-де есептеулер мен тәжірибелер жүргізілді. Төменде нәтижелері көрсетілген.



1.5 сурет - санның бүгілу/жазылу -4° - 60°



1.6 сурет - бұлшық еттің бұрылуы/қалпына келуі -30° - 45°



1.7 сурет - Орта айналу/бүйір айналу -45° - 45°

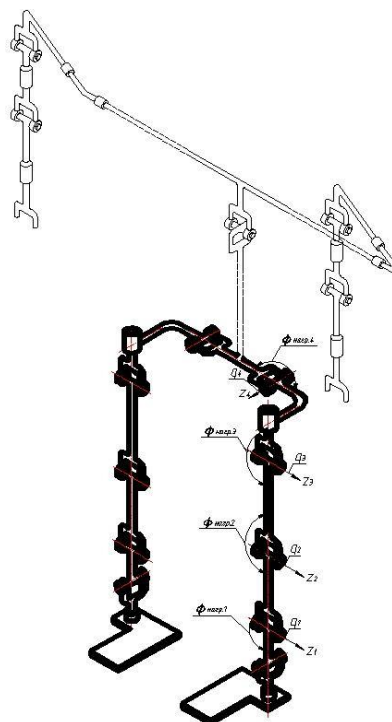
1.5 Экзоскелеттің кинематикалық схемасының қабылданған нұсқасы

Жүргізілген кинематикалық синтез процесінің негізінде жобаланатын қосылыстардың жалпыланған координаталарының өзгеру диапазондары және орындаушы механизмнің кинематикалық сұлбасы алынды. [1]

1.1 Кесте - Жобаланатын қосылыстардың жалпыланған координаталарының өзгеру диапазондары

		Қозғалыс дәрежесінің атауы және жалпыланған координатаның өзгеру диапазонының мәні				
№	Бөліктің атауы	Тангаж	Крен	бүгілу/жазылу	бұрылуы/қалпына келуі	Орта айналу/бүйір айналу
1	Тобық	$[-50^{\circ}; 40^{\circ}]$	$[-30^{\circ}; 20^{\circ}]$			

2	Тізе			$[0^\circ; 90^\circ]$		
3	Жамбас			$[-4^\circ; 60^\circ]$	$[-30^\circ; 45^\circ]$	$[-45^\circ; 45^\circ]$



1.8 сурет - Экзоскелеттің кинематикалық схемасының қабылданған нұсқасы

Қарастырылып отырған экзоскелет гидрожетектердің негізінде жасалынған. Гидрожетектердің негізінде жасалынған жұмыстар аз болғандықтан, экзоскелетке тиімді гидрожетек таңдау мәселесі туындайды. Жұмыстың негізгі бөлігінде сан бөлігінің гидрожетектерін жобалаймын. Жобалау үшін алынған алғашқы мәліметтер:

Жүктің салмағы: $m = 200$ кг

Қуат қысымы: $p_{ж} = 20$ МПа

Ағызу қысымы (давление слива) : $p_a = 0.5$ МПа

Гидрожетекте қолданылатын сұйықтық: АМГ-10 майы

Жобаланатын гидрожетек бұрыштың өзгеруін $\varphi_{ж}$ 120° - 184° қамтамасыз етуі қажет.

2 Гидроцилиндр есебі. Гидрожетектің параметрлерін есептеу

Гидроцилиндр есебін жүргізу үшін келесі шамалардың сандық мәндері қажет:

V_{max} - жетектің шығу буыны қозғалысының ең жоғары жылдамдығы (жетектің шығу буынында жүктеме болмаған кезде, яғни атқарушы гидродвигательдің бос жүрісінде қол жеткізіледі);

P_{max} -гидрожетектің шығыс буынының толық тежелу күші;

U_{max} -жетектің шығыс буынын бір шеткі орыннан екіншісіне максималды жылжуы.

Көрсетілген шамаларды табу үшін сан буынының атқарушы механизмінің жүктеме диаграммасын құру қажет және гидрожетектің сыртқы механикалық сипаттамасын жасау керек.

2.1 Орындаушы механизмнің жүктеме диаграммасын құрастыру

Орындаушы механизмнің жүктеме диаграммасын тұрғызу үшін, жүйеде болып жатқан қозғалыстың типін анықтап, келесідей мәселелерді ескеру қажет:

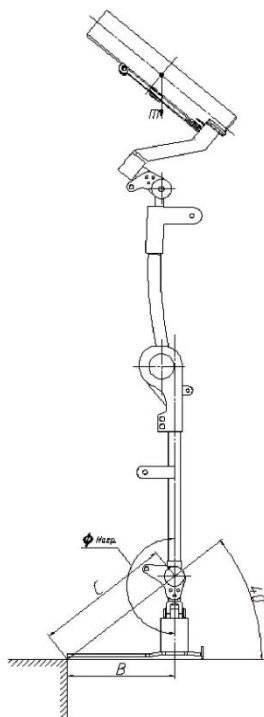
-Адам-оператор бір орында қалатындай етіп, корпусстың екі жақ бұрышының бірдей уақытта өзгеруіне қол жеткізу, яғни дененің алдыға-артқа шалқаюы;

-Уақыттың өтуімен корпусстың күйі өзгермейтін және адам-оператор бір орында қалатындай етіп, аяқтың кезек-кезек сермелуі. Бұл жағдайда, біріншіден, жүктеменің инерциялық құрамдас бөлігі туындамайды, екіншіден, атқару механизмінің аяғының салмағы корпус пен жүктің қосынды массасымен салыстырғанда азырақ болады, бұл қозғалыстың осы түрін зерттеуді міндетті емес етеді;

-Жүріс барысында адам аяғының кезек-кезек сермелуі;

Сонымен, жүктелетін нұсқаны табу мақсатында типтік қозғалыстардың бірінші және үшінші жағдайларын қарастырайық.

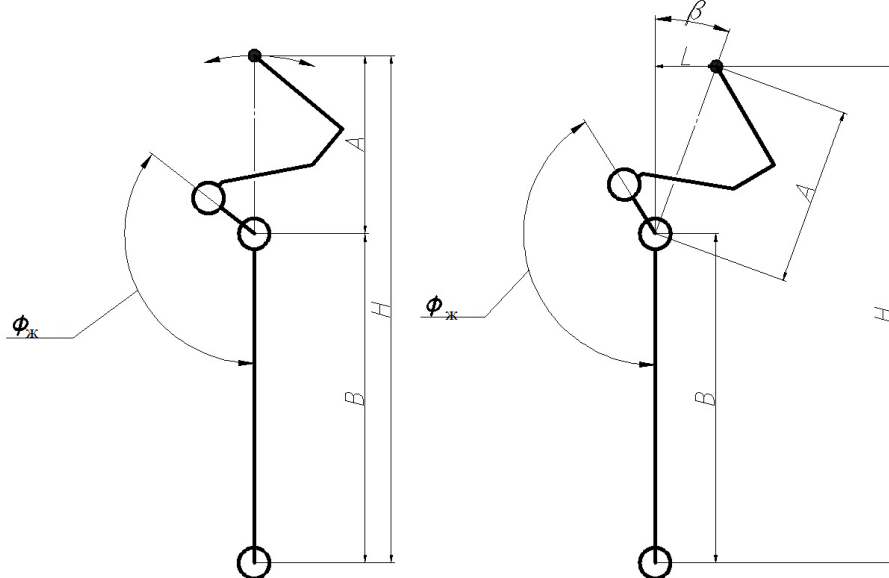
Ескерту: пайда болатын жүктемелер бір аяқпен қабылданады, сонымен қатар, гармоникалық заңға сәйкес бөліктің бұрышы уақыттың өтуімен өзгереді деп есептейміз.



2.1 сурет - Атқарушы механизмнің жүктеме диаграммасын есептеуге арналған сұлба

2.2 Жүктің вертикалды орын ауыстыруының, жүктеме иінінің және бөліктің жалпыланған координатасының мәнінің байланысын анықтау

Орындаушы механизмнің конфигурациясын екі жағдайда қарастырайық: $\varphi_{ж} = 128^\circ$, сан және тізе буындарының топсалары мен центрі бір түзу бойында орналасқан (орындаушы механизмнің корпусының осындай жағдайын бейтарап деп атаймыз), сондай-ақ кейбір еркін жағдайда орналасқан:



2.2 сурет - жүктің вертикалды орын ауыстыруын және бөліктегі жалпыланған координатасының байланысын анықтауға арналған сұлба

мұндағы H және L - іздестірілген шамалар;
 $\varphi_{ж}$ - жүктеме бұрышы, яғни сан мен жамбас буындарының арасындағы бұрыш;
 B - тізе және сан топсалары орталарының арасындағы қашықтық (сан буынының ұзындығы);
 A - сан шарнир орталығы мен массалар орталығы арасындағы қашықтық;
 H - экзоскелеттің ОМ корпусының тігінен орналасуы;
 L - жүктеме әсерінің иіні;
 β - сан шарнир ортасы мен массалар ортасын тігінен қосатын түзудің ауытқу бұрышы.

Геометриялық параметрлерге байланысты келесідей өрнектер анықталады:

$$\beta = \varphi_{ж} - 128. \quad (2.1)$$

$$H - B + A * \cos\beta = B + A * \cos(\varphi_{ж} - 128). \quad (2.2)$$

$$L = A * \sin\beta = A * \sin(\varphi_{ж} - 128). \quad (2.3)$$

2.3 Жүктеме диаграммасын құру үшін алынған бастапқы деректер

$m_{ж}=200$ кг- жүктеме массасы

$A= 272$ мм- сан шарнир орталығы мен массалар орталығы арасындағы қашықтық;

$B=462$ мм- тізе және сан топсалары орталарының арасындағы қашықтық (сан буынының ұзындығы);

$\varphi_{Aж} = 32^\circ$ - бөліктегі бұрыштың амплитудасының өзгерісі;

$\varphi_{Bж} = 152^\circ$ - бөліктегі бұрыштың бастапқы мәні;

$T= 1.5$ с- жаттығу периоды, жаттығу ретінде тангаж бойынша корпусың орналасуын өзгертеміз, яғни екі аяққа арналған жүктеме бұрышын $\varphi_{ж}$ бір мезгілде гармоникалық өзгерту;

MathCad бағдарламасында жүктеме диаграммасын құрамыз (әрбір параметрдің өзгеру графиктері Қосымша А көрсетілген):

Бөліктегі бұрыштың өзгеру графигі

$$\varphi_{ж}(t) = \varphi_{Aж} * \sin(\omega * t) + \varphi_{Hж}, \quad (2.4)$$

гармоникалық заңымен өрнектеледі.

Қосылудағы бұрыштық жылдамдық өрнегі $d\varphi_{ж}(t)$ қосылудағы бұрыштың уақыты бойынша бірінші туындымен анықталады:

$$d\phi_{\text{ж}}(t) = \phi_{A\text{ж}} * \omega \cos(\omega t). \quad (2.5)$$

Бұрыштық үдеу $dd\phi_{\text{ж}}(t)$ екінші реттік туындымен анықталады:

$$dd\phi_{\text{ж}}(t) = -\phi_{A\text{ж}} * \omega^2 \sin(\omega t). \quad (2.6)$$

Тік ось бойынша жүктің жағдайының өзгеру заңы $H_{\text{жүк}}(t)$:

$$H_{\text{жүк}}(t) = B + A * \cos(\phi_{\text{ж}}(t) - 128\text{deg}). \quad (2.7)$$

Тік ось $dH_{\text{жүк}}(t)$ бойынша жүк күйінің өзгеру жылдамдығы былайша көрсетілуі мүмкін:

$$dH_{\text{жүк}}(t) = -A * \sin(\phi_{\text{ж}}(t) - 128\text{deg}) * d\phi_{\text{ж}}(t). \quad (2.8)$$

Жүктің тік осі $ddH_{\text{жүк}}(t)$ бойынша үдеуі жүктің тік координатасынан уақыт бойынша екінші туындыдан анықталады:

$$ddH_{\text{жүк}}(t) = -A * \cos(\phi_{\text{ж}}(t) - 128\text{deg}) * (d\phi_{\text{ж}}(t))^2 - A * \sin(\phi_{\text{ж}}(t) - 128\text{deg}) * dd\phi_{\text{ж}}(t). \quad (2.9)$$

Жүктеме жағынан атқарушы механизммен қабылданатын күш үшін өрнек былайша жазылуы мүмкін $P_{\text{ж}}(t)$:

$$P_{\text{ж}}(t) = m_{\text{жүк}} (g + ddH_{\text{жүк}}(t)), \quad (2.10)$$

Мұндағы, g -еркін құлау үдеуі.

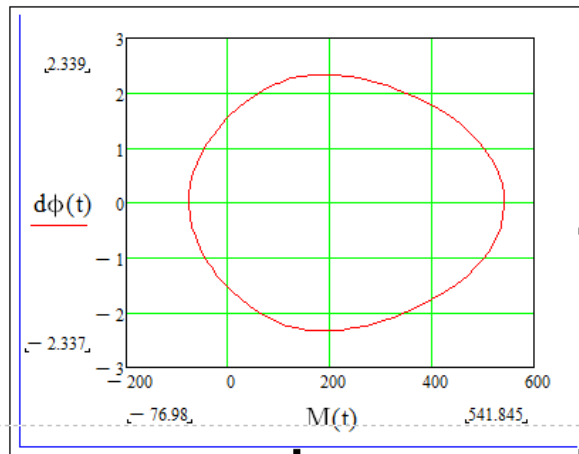
Жүктеменің иін мәнінің өзгеруі келесідей анықталады:

$$L(t) = A * \sin((\phi_{\text{ж}}(t) - 128\text{deg})). \quad (2.11)$$

Момент келесідей анықталады:

$$M(t) = P_{\text{ж}}(t) * L(t). \quad (2.12)$$

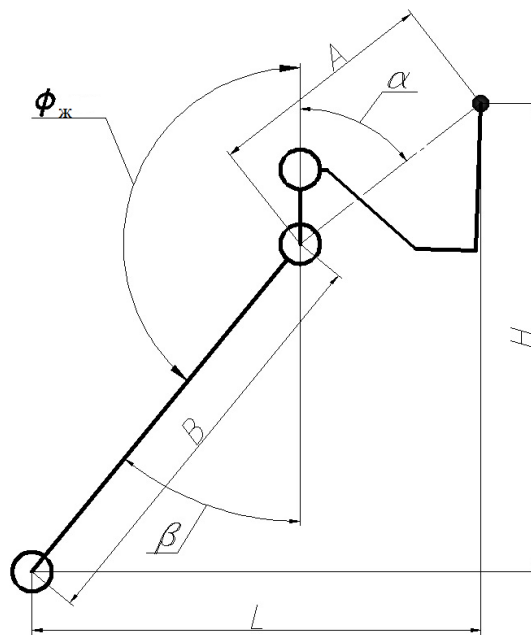
Алынған мәндерді қорыта отырып, ОМ-нің жүктемелік диаграммасын аламыз:



2.3 сурет - Орындаушы механизмнің жүктеме диаграммасы

2.4 Жүру процесінде бөліктегі бұрышының өзгеру жағдайы үшін атқару механизмнің жүктеме диаграммасын құру

Еркін жағдайда атқару механизмнің конфигурациясын қарастырайық:



2.4 сурет -Жүктің вертикал орын ауыстырудың байланысын анықтауға арналған сұлба және біріктірілген координаттың мәні

$\varphi_{ж}$ - жүктеме бұрышы, жамбас және сан буындары арасындағы бұрыш ;
 H және L - бастапқы мәндер;

B - тізе және сан топсалары орталарының арасындағы қашықтық (сан буынының ұзындығы);

А -сан шарнирының ортасы мен массалар ортасының арасындағы қашықтық;

H - экзоскелет ОМ-нің корпусының вертикалды орналасуы;

L - жүктеме әсерінің иіні;

β - $\varphi_{ж}$ бұрышын толықтыратын бұрыш;

α -жамбас буыны мен түзу арасындағы бұрыш, сан шарнирларының орталары және масса орталарын қосатын, оның конструкциясымен толық анықталатын тұрақты өлшем болып табылады;

Геометриялық өлшемдеріне байланысты келесідей өрнектер анықталады:

$$\beta = \pi - \varphi_{ж}. \quad (2.13)$$

$$H = B * \cos\beta + A * \cos\alpha. \quad (2.14)$$

$$L = B * \sin\beta + A * \sin\alpha. \quad (2.15)$$

$$H = B * \cos(\pi - \varphi_{ж}) + A * \cos\alpha = -B * \cos\varphi_{ж} + A * \cos\alpha. \quad (2.16)$$

$$L = B * \sin(\pi - \varphi_{ж}) + A * \sin\alpha = B * \sin\varphi_{ж} + A * \sin\alpha. \quad (2.17)$$

Жүктеме диаграммасын құрастыру үшін тангаж бойынша корпусының өзгеруін қарастырамыз. (әрбір параметрдің өзгеру графиктері Қосымша Б көрсетілген)

$\alpha=53 \text{ deg}$.

Вертикаль ось бойынша жүктің орналасуының өзгеруі:

$$H_{жүк}(t) = -B * \cos(\varphi_{ж}(t) + A * \cos(\alpha)). \quad (2.18)$$

Вертикаль ось бойынша жүктің орналасуының өзгеру жылдамдығы $dH_{ж}(t)$ былайша көрсетілуі мүмкін:

$$dH_{жүк}(t) = B * \sin(\varphi_{ж}(t)) * d\varphi_{ж}(t). \quad (2.19)$$

Жүктің вертикаль осі бойынша үдеуі $ddH_{ж}(t)$ жүктің вертикаль координатасынан уақыт бойынша екінші туынды ретінде алынады:

$$ddH_{жүк}(t) = B * \cos(\varphi_{ж}(t)) * (d\varphi_{ж}(t))^2 + B * \sin(\varphi_{ж}(t)) * dd\varphi_{ж}(t). \quad (2.20)$$

Жүктеме жағынан орындаушы механизммен қабылданатын күш үшін өрнек былайша жазылуы мүмкін $P_{ж}(t)$:

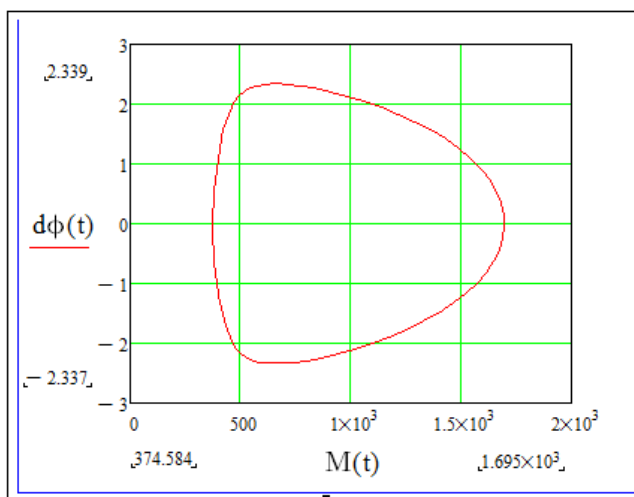
$$P_{ж}(t) = m_{ж\text{үк}} \left(g + ddH_{ж\text{үк}}(t) \right). \quad (2.21)$$

Жүктеменің иін мәнінің өзгеруі келесідей анықталады:

$$L(t) = B * \sin((\phi_{ж}(t)) + A \sin \alpha). \quad (2.22)$$

Момент келесідей анықталады:

$$M(t) = P_{ж}(t) * L(t). \quad (2.23)$$



2.5 сурет - ОМ жүктеме диаграммасы

Жоғарыда көрсетілген жүктеме диаграммаларын қарастырғанда, корпустың тангаж бойынша орын ауыстыруы кезінде, аяқты жүріс кезінде ары-бері сермегенде екінші жағдайдағы диаграмманың жүктемесінің көп екенін байқаймыз, сондықтан, есептеу жүргізу барысында екінші диаграмманы қарастырамыз. (2.3 сурет) (2.5 сурет)

2.5 ОМ сыртқы механикалық сипаттамасын жасау

Жүктеме диаграммасын құрағаннан кейін, гидрожетектің сыртқы механикалық сипаттамасы құрастырылды. Сыртқы механикалық сипаттама гидрожетектің параметрлерін анықтауға көмектеседі.

Орындаушы механизмнің жүктеме диаграммасының координаттарында сыртқы дроссельді басқарылатын гидрожетектің механикалық сипаттамасы теңдеумен сипатталатын парабола түрінде болады [2]

Дроссельдік басқарумен жұмыс істейтін гидрожетектің механикалық сипаттамасын құрастыру үшін, [3] әдебиетте көрсетілгендей әдістемені қолданамыз.

Гидрожетекті қолданғанда, келесідей болжамдар қарастырылады:

-гидроцилиндрдің қуысында жұмыс сұйықтығының ағып кетуі, ағуы және қысылуы ескерілмейді;

-ЭГК пен гидроцилиндр бір-біріне тікелей жақын орналасқандықтан, ЭГК мен гидроцилиндр арасындағы қосқыш құбырлардың әсерін елемейміз;

-ЭГК мінсіз деп есептейміз, яғни золотниктің нөлдік жабыны және радиалды саңылауы бар;

-гидроцилиндрдегі ішкі энергия шығынын ескермейміз.

Орындаушы механизмнің жүктеме диаграммасының координаттарында сыртқы дроссельді басқарылатын гидрожетектің механикалық сипаттамасы теңдеумен сипатталатын парабола түрінде болады:

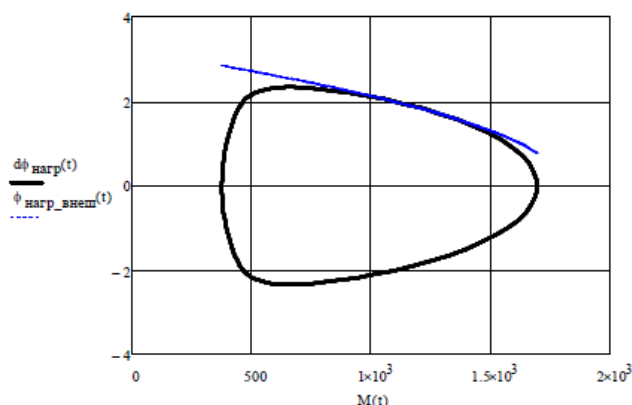
$$\Phi_{\text{сырт.ж}} = \Phi_{x.x} * \sqrt{1 - \frac{M(t)}{M_T}}. \quad (2.24)$$

$\Phi_{x.x}$ және M_T мәндерін өзгерте отырып, қоректендіретін қондырғының ең аз қуатына сәйкес келетін мәнді есептеп аламыз (графиктің ауданы да минималды болуы керек). Бұл ретте таңдап алынатын сипаттаманың орындаушы механизмнің жұмыс қабілеттілігін қамтамасыз етілуін қадағалау қажет, графикалық түрде ол жоғары орналасқандығын немесе орындаушы механизмнің механикалық сипаттамасына жанасып өткендігі көрінеді.

$\Phi_{x.x}$ және M_T өзгерту арқылы келесідей тиімді мәндер таңдап алынды:

$$\Phi_{x.x} = 3 \frac{\text{rad}}{\text{s}}. \quad (2.25)$$

$$M_T = 1950 \text{ N} * \text{m}. \quad (2.26)$$

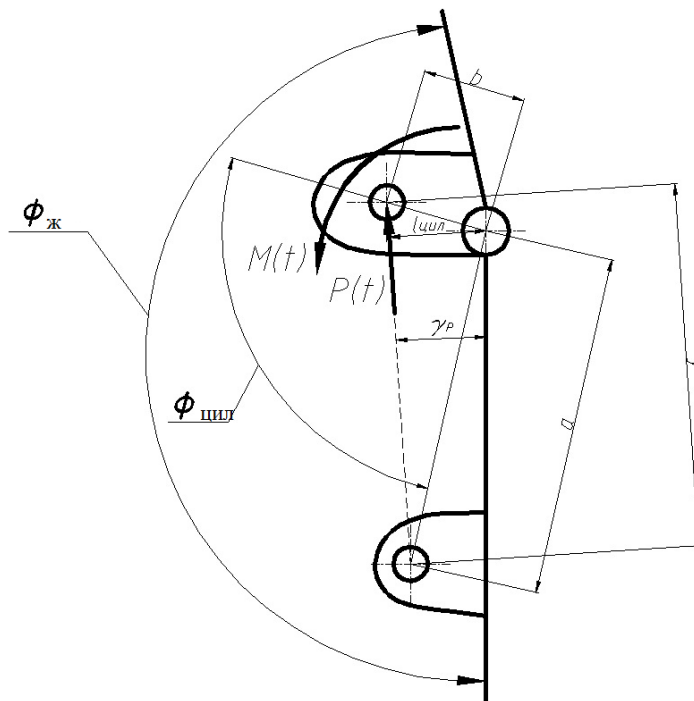


2.6 сурет - Гидрожетектің сыртқы сипаттамасына талдау

$$\int_0^T \Phi_{x.x} * \sqrt{1 - \frac{M(t)}{M_T}} dt = 3.259. \quad (2.27)$$

2.6 Гидрожетектің жүктеме диаграммасын құру

V_{max} , P_{max} , U_{max} анықтау үшін гидрожетектің экзоскелетке бекітілетін бекітпелерінің геометриялық өлшемдерін таңдап, оның жүктеме диаграммаларын тұрғызу керек. Төменде келтірілген сұлба арқылы гидрожетектің жүктеме диаграммасының өлшемдері анықталады. (әрбір параметрдің өзгеру графиктері Қосымша В көрсетілген)



2.7 сурет -Гидрожетектің жүктеме диаграммасын есептеу схемасы

Мұндағы:

- $P(t)$ - t уақыт кезіндегі гидроцилиндегі өсетін күш;
- $l_{цил}$ -сан шарниріне қатысты P күш иіні;
- a, b -гидроцилиндр бекітпелерінің орталарынан сан гидроцилиндірінің ортасына дейінгі алынған қашықтық;
- u -бекітпе орталарының арасындағы қашықтық;
- γ_p -сан шарнирінің ортасымен өтетін, P күшінің сызығының вертикаль оське көлбеу бұрышы;
- $\varphi_{цил}$ - цилиндр бекіту орталарын және сан шарнир орталарын қосатын бұрыш;
- $M(t)$ - t уақытындағы бөліктегі момент.
- $\varphi_{цил}$ бұрышының уақытқа байланысты өзгеруі:

$$\varphi_{цил}(t) = \varphi_{ж}(t) - 55deg. \quad (2.28)$$

Бекітпе орталарының арасындағы қашықтықты косинустар теоремасымен есептейміз:

$$y(t) = (a^2 + b^2 - 2ab * \cos(\varphi_{\text{цил}}(t)))^{\frac{1}{2}}. \quad (2.29)$$

Күш иінінің уақытқа байланысты өзгеруі:

$$l_{\text{цил}}(t) = \frac{a*b*\sin(\varphi_{\text{цил}}(t))}{y(t)}. \quad (2.30)$$

Гидроцилиндрдегі өсетін күштің өзгеруі:

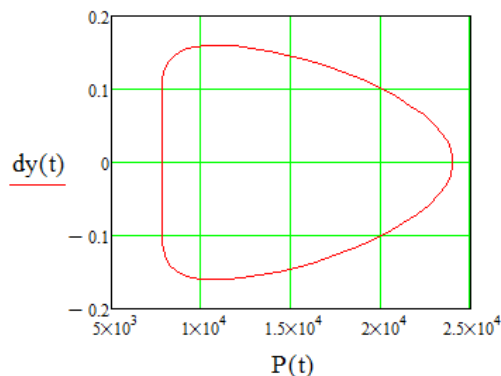
$$P(t) = \frac{M(t)}{l_{\text{цил}}(t)}. \quad (2.31)$$

Уақыт бойынша шток қозғалысының жылдамдығының өзгеруі:

$$dy_{\text{цил}}(t) = d\Phi_{\text{ж}}(t) * l_{\text{цил}}(t). \quad (2.32)$$

Уақыт өте келе гидроцилиндрмен дамитын қуаттың өзгерісі:

$$N_{\text{цил}}(t) = P(t) * dy_{\text{цил}}(t). \quad (2.33)$$



2.8 сурет - Гидроцилиндрдің жүктеме диаграммасы

2.7 Гидроцилиндрді есептеу үшін бастапқы деректерді алу

Алынған жүктеме диаграммалардың графигін және MathCad ортасының құралдарын пайдалана отырып, гидроцилиндрді есептеу үшін бастапқы деректерді аламыз. (MathCad ортасында есептеу программалары Қосымша Г көрсетілген)

- $P_{\text{max}} = 2.401 * 10^4 \text{Н}$ - гидроцилиндр дамытатын максималды күш;
- $dy_{\text{цил}}(t_{\text{max}}) = 0 \text{м/с}$ -гидроцилиндр штогының максимум күшке жеткен кездегі қозғалыс жылдамдығы;
- $\Phi_{\text{ж}}(t_{\text{max}}) = 2.094 \text{рад}$ -бөліктегі бұрыш.

- $V_{max} = 0.16$ м/с-шток қозғалысының максимал жылдамдығы;
 - $P_{max1} = 1.086 * 10^4$ Н- шток қозғалысының максимал жылдамдығы кезіндегі гидроцилиндр дамытатын максималды күш;
 - $u_{max} = 0.72$ м-Гидроқозғалтқыштың шығу буынының бір шеткі жағдайдан екіншісіне ең жоғары жылжу мәні ОМ үшін гидроцилиндрдің бекітпелерінің таңдалған өлшемдерімен және біріктірілген бұрыштың өзгеру диапазонының қабылданған мәнімен анықталады.

2.8 Гидроцилиндр параметрлерін есептеу

Бастапқы деректер:

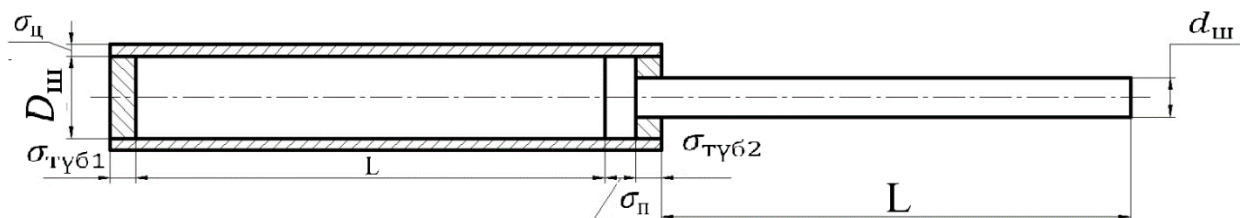
- $p_n = 20$ МПа- қуат қысымы;
 - $p_{af} = 0.5$ МПа- ағызу қысымы;
 - $V_{max} = 0.16$ м/с-шток қозғалысының максимал жылдамдығы;
 - $P_{max} = 24$ кН-толық тежеу күші;
 - $u_{max} = 0.72$ м-штоктың бір шеттен екінші шетке жылжудың максимал мәні;
 -20ГС2 болат-гидроцилиндр гильзасының материалы;
 - $\sigma_b = 980$ МПа-болат беріктігінің шегі.

Бұған дейін салмағының ең аз мәнін беретін гидроцилиндр параметрлерінің мәнін анықтауға мүмкіндік беретін аналитикалық өрнектер алынды. Осы шамалардың сандық мәнін алайық.

2.8.1 Гидроцилиндрдің тиімді ұзындығын табу

Робототехникадағы гидроцилиндрді есептеудің негізгі ерекшеліктерінің бірі-салмақ минимумының өлшемін тарту болып табылады, бұл күш гидроцилиндрінің параметрлерін анықтауға мүмкіндік береді. Гидроцилиндрдің салмағын барынша азайту робототехникада пайдаланылатын гидрожетектер жүйелерінде гидроқозғалтқыштардың атқарушы органдарда орналасуына байланысты ерекше мәнге ие болады. Демек, гидроқозғалтқыштың салмақтық көрсеткіштері гидрожетектің статикалық және динамикалық сипаттамаларының сапасына елеулі әсер етеді.

Ең аз салмақ өлшемі бойынша өтетін штокпен гидроцилиндрдің оңтайлы параметрлерін табу әдістемесі жұмыста сипатталған [4]. Дифференциалды поршеньмен гидроцилиндрдің оңтайлы параметрлерін табу процесін сипаттаймыз.



2.9 сурет - Салмақтық критеріі бойынша сызылған дифференциалды поршні бар есептік сызба

Мұндағы:

- $D_{\text{ш}}$ - поршеньдің көлденең қимасының диаметрі;
- $d_{\text{шт}}$ - штоктің көлденең қимасының диаметрі;
- $L = y_{\text{max}}$ - поршень жүрісі;
- $\delta_{\text{тyб1}}$, $\delta_{\text{тyб2}}$ - гидроцилиндр түбінің қалыңдығы;
- $\delta_{\text{ц}}$ - гидроцилиндр гильзасының қалыңдығы;
- $\delta_{\text{п}}$ - поршень ұзындығы.

[4] жұмыста сипатталған формулалар бойынша гидроцилиндрдің тиімді ұзындығын табамыз.

$$G_{\text{п}} = \frac{\pi \gamma_6}{4} D^2 \delta_{\text{п}}, \quad (2.34)$$

мұндағы:

- $G_{\text{п}}$ - поршень салмағы;
- γ_6 - материалдың (болат) меншікті салмағы.

$$\delta_{\text{тyб1}} = \sqrt{\frac{K_{\phi 1} p_{\text{н}}}{[\sigma_{\text{рyк}}]_6}} D = \sqrt{\frac{K_{\phi 1} p_{\text{н}} n}{[\sigma_{\text{в}}]_6}} D, \quad (2.35)$$

$$\delta_{\text{тyб2}} = \sqrt{\frac{K_{\phi 2} p_{\text{н}}}{[\sigma_{\text{рyк}}]_6}} D = \sqrt{\frac{K_{\phi 2} p_{\text{н}} n}{[\sigma_{\text{в}}]_6}} D, \quad (2.36)$$

$$\delta_{\text{тyб3}} = \sqrt{\frac{p_{\text{н}} - p_{\text{ағ}}}{[\sigma_{\text{рyк}}]_6}} D = \sqrt{\frac{(p_{\text{н}} - p_{\text{ағ}}) n}{[\sigma_{\text{в}}]_6}} D, \quad (2.37)$$

мұндағы:

- K_{ϕ} - [0.25÷0.5] аралығында шектік мәні бар, гидроцилиндр түбінің формасына тәуелді коэффициент;

- $[\sigma_{\text{рyк}}]_6 = \frac{[\sigma_{\text{в}}]_6}{n}$ - материалдың рұқсат етілетін кернеуі;

- $[\sigma_{\text{в}}]_6$ - материал беріктігінің шегі, $[\sigma_{\text{в}}]_6 = 1000 \text{ МПа}$;

- n - беріктік қорының коэффициенті, [3.5÷4].

Қалың қабырғалы гильза гидроцилиндр үшін тәуелділік, $\frac{\delta_{ц}}{D} > 0.1$:

$$\delta_{ц} \geq \frac{1}{2} \left(\sqrt{\frac{2[\sigma_{\text{пук}}]_{\delta}}{2[\sigma_{\text{пук}}]_{\delta} - 2p_{\text{н}}}} - 1 \right) D. \quad (2.38)$$

D гидроцилиндр диаметрінен гидроцилиндр конструкциясы элементтерінің тиісті қалыңдықтары тәуелділігі салмақтық талдау тұрғысынан маңызды:

$$\delta_{\text{түб1}} = k_{\text{түб1}} D, \quad (2.39)$$

$$\delta_{\text{түб2}} = k_{\text{түб2}} D, \quad (2.40)$$

$$\delta_{\text{п}} = k_{\text{п}} D, \quad (2.41)$$

$$\delta_{ц} = k_{ц} D. \quad (2.42)$$

$$k_{G1} = \pi \gamma_{\delta} \sqrt{\frac{A^3}{\pi^3 (p_{\text{н}} - p_{\text{аф}})^3}} [8k_{ц} k_{\text{түб1}} + 8k_{ц} k_{\text{түб2}} + 8k_{ц} k_{\text{п}} + k_{ц}^2 k_{\text{түб1}} + 16k_{ц}^2 + 2k_{\text{түб1}} + 2k_{\text{түб2}} + 2k_{\text{п}}], \quad (2.43)$$

$$k_{G2} = -\frac{\pi \gamma_{\delta}}{4} k_{\text{түб2}} \left(32 * \sqrt{\frac{k_{\text{к}} A n_{\gamma} (2\mu)^2}{\pi^3 k_3 E}} * \frac{4A}{\pi (p_{\text{н}} - p_{\text{аф}})} \right), \quad (2.44)$$

мұндағы:

- $k_{\text{к}}$ = 1.15-гидрожүйеде қысымның арту мүмкіндігін ескеретін коэффициент;

- $p_{\text{н}}$ -қуат жүйесі қысымы;

- $p_{\text{аф}}$ -ағыс қысымы;

- n_{γ} = 1.5-тұрақтылық бойынша қор коэффициенті;

- k_3 = 1-гидроцилиндрдің бекітілуін ескеретін коэффициент, біздің жағдайда шарнирлермен;

- E - шток материалының бірінші реттік серпімділік модулі;

- μ = 1-шток ұзындығын келтіру коэффициенті;

- $A = M_T \varphi_m$ - ОМ қозғалу дәрежесінің жұмыс қабілеттілігі. Мұндағы, M_T -тежелу моменті; φ_m - $\varphi_{\text{ж}}$ максимал мәні.

$$k_{G3} = -\frac{\pi \gamma_{\delta}}{4} * 16 * \sqrt{\frac{k_{\text{к}} A n_{\gamma} (2\mu)^2}{\pi^3 k_3 E}} * \frac{4A}{\pi (p_{\text{н}} - p_{\text{аф}})}; \quad (2.45)$$

$$k_{G4} = -\frac{\pi \gamma_{\delta}}{4} * 16 * \sqrt{\frac{k_{\text{к}} A n_{\gamma} (2\mu)^2}{\pi^3 k_3 E}}. \quad (2.46)$$

$$L_{\text{тиім}} = \sqrt[3]{\frac{k_{G1}}{k_{G4}}}. \quad (2.47) [4]$$

$$\gamma_c = \rho_c g, \quad (2.48)$$

мұндағы:

- γ_c -жұмыс сұйықтығының үлес салмағы;

- ρ_c -сұйықтық тығыздығы.

Гидроцилиндрдің тиімді ұзындығын табу үшін (2.45) формуланы қолданамыз. Есептеуді жүргізу үшін (2.43) және (2.44) формулаларындағы k_{G1} және k_{G2} мәндерін есептеу керек. Есептеулер MathCad ортасында жүргізіледі. (Есептеулердің бағдарламасы Қосымша Д көрсетілген)

(2.38), (2.42) формулаларын қарастыра отырып- $[\sigma_{\text{рҮҚ}}]_6 = 280\text{МПа}$ нәтижесін аламыз.

Құрастырылып отырылған гидроцилиндр үшін $k_{\text{ц}} = 0.17$, $\delta_{\text{ц}} = 5.5\text{мм}$.

(2.35) және (2.39) өрнектерін қолдана отырып $k_{\text{тҮб1}} = 0.134$ мәнін аламыз.

(2.36) және (2.40) өрнектерін қолдана отырып $k_{\text{тҮб2}} = 0.134$ мәнін аламыз.

(2.37) және (2.41) өрнектерін қолдана отырып $k_{\text{п}} = 0.26$ мәнін аламыз.

(2.43) формуланы пайдалана отырып $k_{G1} = 0.562\text{м}^{25} * \text{кг}/\text{с}^2$.

(2.46) формуланы пайдалана отырып $k_{G4} = 1.9 * 10^2\text{кг}/\text{м}^{0.5}\text{с}^2$.

(2.47) формулаға шыққан мәндерді қойып, $L_{\text{тиім}} = \sqrt[3]{\frac{k_{G1}}{k_{G4}}} = 0.143\text{м}$ екенін табамыз.

[5] әдебиеттегі ұсынымдарды қарастыра отырып, гидроцилиндрдің ұзындығын ГОСТ 6540-68 стандартына сәйкес жуықтап отырып келесідей шешімге келеміз:

$$L_{\text{тиім}} = 0.16\text{м}. \quad (2.49)$$

2.8.2 Гидроцилиндрдің тиімді диаметрін табу

Гидроцилиндрдің тиімді диаметрін табу үшін алынған мәндерді (2.50) формулаға саламыз:

$$D_{\text{тиім}} = \sqrt{\frac{4A}{\pi(p_{\text{н}} - p_{\text{ағ}})L}} = 0.051\text{м}. \quad (2.50)$$

[5] әдебиеттегі ұсынымдарды қарастыра отырып, гидроцилиндрдің диаметрін ГОСТ 12447-80 стандартына сәйкес жуықтаймыз:

$$D_p = 0.056\text{м.} \quad (2.51)$$

2.8.3 Гидроцилиндрдің штогының тиімді диаметрін табу

Гидроцилиндрдің штогының тиімді диаметрін табу үшін жоғарыда шыққан (2.48) мәнді [4] әдебиетте келтірілген формулаға қоямыз:

$$d_{\text{шт.тиім}} = 2 * \sqrt{\frac{k_k(p_H - p_{\text{аф}})n_\gamma(L_p)^2}{\pi^2 k_3 E}} * \sqrt[8]{\frac{4A}{\pi(p_H - p_{\text{аф}})L_p}} = 0.011\text{м.} \quad (2.52)$$

[5] әдебиеттегі ұсынымдарды қарастыра отырып, гидроцилиндр штогының диаметрін ГОСТ 12447-80 стандартына сәйкес жуықтаймыз:

$$d_{\text{шт.р}} = 0.012\text{м.} \quad (2.53)$$

2.8.4 Гидроцилиндрдің тиімді салмағын табу

Гидроцилиндрдің тиімді салмағын есептеу үшін:

$$G_{\text{г.д}} = \frac{\pi \gamma_c}{4} D_p^2 L_p + \pi \gamma_{\text{аф}} (k_{\text{ц}} D_p^2 L_p + k_{\text{ц}} D_p^3 k_{\text{түб1}} + k_{\text{ц}} D_p^3 k_{\text{түб2}} + k_{\text{ц}} D_p^3 k_{\text{п}} + k_{\text{ц}}^2 D_p^2 L_p + k_{\text{ц}}^2 D_p^3 k_{\text{түб1}} + k_{\text{ц}}^2 D_p^3 k_{\text{түб2}} + k_{\text{ц}}^2 D_p^3 k_{\text{п}}) + \frac{\pi \gamma_c}{4} D_p^3 k_{\text{түб1}} + \frac{\pi \gamma_c}{4} k_{\text{түб2}} (D_p^3 - d_{\text{шт.тиім}}^2 D_p) + \frac{\pi \gamma_c}{4} k_{\text{п}} D_p^3 = 28.977\text{Н.} \quad (2.54)$$

2.8.5 Гидроцилиндр түбтерінің тиімді қалыңдықтарын табу

Гидроцилиндр түбтерінің оңтайлы қалыңдығын (2.35),(2.36) формулаларды және $k_{\phi 1} = k_{\phi 2}$ шартын пайдалана отырып есептейміз.

$$\delta_{\text{түб1}} = \delta_{\text{түб2}} = 8\text{мм.} \quad (2.55)$$

2.8.6 Гидроцилиндр поршенінің тиімді ұзындығын табу

Гидроцилиндр поршенінің тиімді ұзындығын табу үшін:

$$\delta_{\text{п}} = \sqrt{\frac{(p_H - p_{\text{аф}})n}{\sigma_B}} * D_p = 16\text{мм.} \quad (2.56)$$

Гидроцилиндрдің гильзасының тиімді қалыңдығы- $\delta_{ц,р} = 3.2\text{мм}$.

2.9 Параметрлерді тексеру және механизмнің конструкциясын ескере отырып, гидроцилиндр параметрлерін тағайындау

Жоғарыда гидроцилиндрге минимал салмақ қамтамасыз ететіндей қылдырып, параметрлер тағайындалды. Енді гидроцилиндрдің конструкциясына сай параметрлер тағайындадық:

$$D_{ц} = 45\text{мм}, \quad (2.57)$$

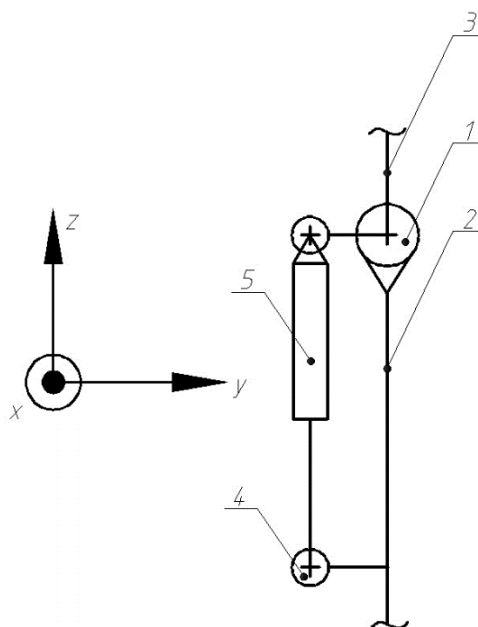
$$d_{шт} = 32\text{мм}, \quad (2.58)$$

$$\delta_{ц} = 5.5\text{мм}. \quad (2.59)$$

3 Бөлікке әсер ететін күш факторларын анықтау

Жоғарыда көрсетілген жүктеме диаграммаларынан гидроцилиндрде пайда болатын күштің шамасы белгілі: $P_{max} = 24010\text{H}$

Геометриялық параметрлерге байланысты құрылған бөліктің принципіалды сұлбасы:

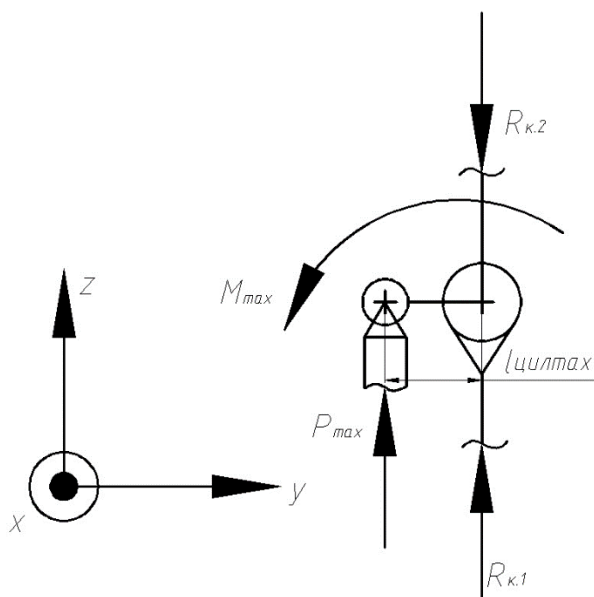


3.1 сурет -Бөліктің принципіалды сұлбасы

Мұндағы:

- 1-x осімен қозғалатын, сан шарниры;
- 2-сан;
- 3-жамбас;
- 4-гидроцилиндр бекітпесі;
- 5-сан бөлігінің гидроцилиндрі.

Бөліктің звеноларына түсетін күштерді көрсетейік:



3.2 сурет -Бөлікке түсетін күштер

Мұндағы:

- P_{max} -ось бойынша гидроцилиндр тудыратын күш;

- $l_{ц.и.л.маx} = 0.072$ м-гидроцилиндр тудыратын күштің максимал иіні;

- $M_{max} = P_{max} * l_{ц.и.л.маx} = 1728.7$ Н*м-бөліктегі максимал момент;

- $R_{к1} = 2708.4$ Н-экзоскелет корпусының төменгі жағынан түсетін реакция күші;

- $R_{к2} = P_{max} - R_{к1} = 21301.6$ Н-экзоскелет корпусының жоғарғы жағынан түсетін реакция күші.

3.1 Сан бөлігінің қозғалысы үшін бұрыштық орын ауыстыру датчигін таңдау

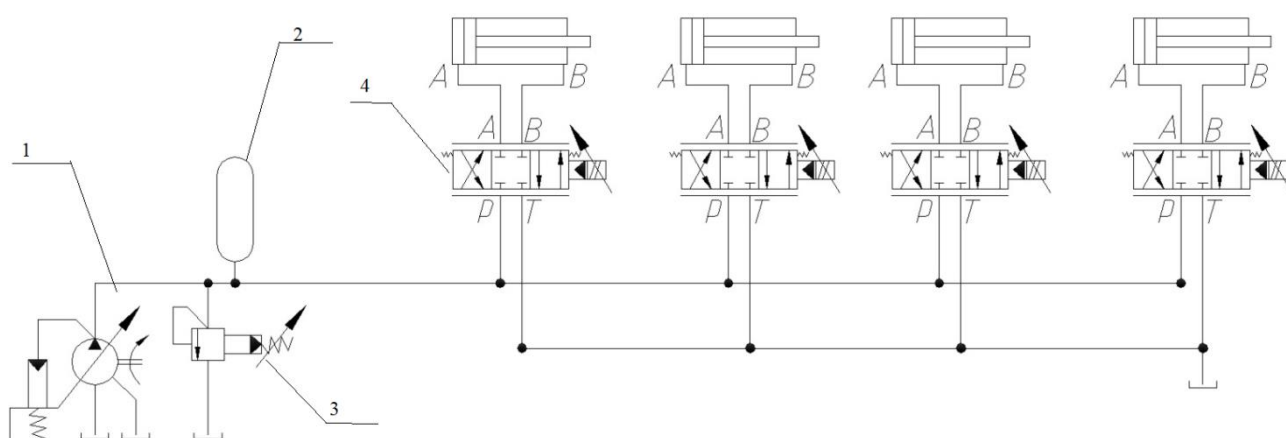
Негізгі тізе бөліктерінің геометриялық өлшемдеріне сәйкес және құрылғының өлшемдерін барынша азайту мақсатында білік ішінде бұрыштық қозғалу датчигін орнату туралы шешім қабылданды. Сондықтан, ЛИР МИ-208 шағын сенсоры таңдалды.



3.3 сурет -ЛИР МИ-208 датчигі

4 ОМ гидравликалық сұлбасы

ОМ бір аяғының гидравликалық сұлбасы келтірілген. Сұлбадағы әрбір гидроцилиндр аяқтың тобық, тізе, сан, бел буынын сипаттайды. Осы сұлба арқылы алда сан бөлігінің гидрожетектің моделінің блок-схемасы сызылады. Сұлбадағы борттық насос станциясы жүйеге 20МПа көлеміндегі қысым береді. Гидравликалық аккумулятор құрылысының ерекшелігіне байланысты, мембранаға және ішіне толған газдың арқасында жүйеге қосымша арын береді. Қысым регуляторы болса, жүйедегі қысымның тұрақтылығын қадағалап, әрбір буынға қажет қысымның жеткізілгенін қадағалайды. Төрт сызықты (А,В,Р,Т), 3 позиционды гидравликалық таратқыш сұйықтың гидроцилиндрға кіріп, қайта ағуын, яғни штогының қозғалысын қамтамасыз етеді. Гидроцилиндр, өз кезегінде, денені қозғалысқа келтіреді. (4.1 сурет)



4.1 сурет -ОМ гидравликалық сұлбасы

Мұндағы:

- 1-борттық насос станциясы;
- 2-гидравликалық аккумулятор;
- 3-қысым регуляторы;
- 4-гидравликалық таратқыш.

5 ОМ бөліктегі ЭГБЖ-ның сызықтық-математикалық моделінің құрастырылуы

ЭГБЖ-ның математикалық моделін құрастыру үшін [6] әдебиетте сипатталған әдіспен есептейміз. Келесідей шарттар рұқсат етілген:

-сұлбадағы гидроцилиндрдің поршенінің орта орналасуындағы оң және сол жақтың геометриялық параметрлерінің мәндері бір-біріне жақын болғандықтан, келесідей теңдіктер орындалады:

$$S_1 = S_2 = S_{\Pi}, \quad (5.1)$$

мұндағы:

- S_1, S_2 -ГЦ-ның оң және сол жақ қуыстарындағы поршендерінің аудандары;

- S_{Π} -поршень ауданы;

$$V_1 = V_2 = V_0, \quad (5.2)$$

мұндағы:

- V_1, V_2 -ГЦ-дің оң және сол жақ бөліктерінің қуысының көлемі;

$$V_{1л} = V_{2л} = V_{л}, \quad (5.3)$$

мұндағы:

- $V_{1л}, V_{2л}$ -золотникке сәйкес ГЦ-дің оң және сол жақ қуыстарын байланыстыратын каналдардың көлемі;

$$k_{31} = k_{32} = k_{33} = k_{34} = k_3, \quad (5.4)$$

мұндағы:

- $k_{31}, k_{32}, k_{33}, k_{34}$ -золотниктің гильза саңылауларының үлестік өткізгіштігі.

-Қоспаның көлемдік серпімділігінің модулінің мәнін $B_{\text{қос}}$ сұйықтықтың көлемдік серпімділігінің көлемінің мәнімен $B_{\text{сұй}}$ тең деп аламыз, себебі, қарастырылып отырылған үрдістегі жылдамдықтар, сұйықтықтағы ерудің және газдың бөлінуінің жылдамдығынан көп. $B_{\text{сұй}}$ мәні гидроцилиндр қысымының орташа деңгейінде және қысымнан тәуелсіз болады;

-Шығыс звеноға құрғақ үйкеліс әсер етпейді, ал тұтқырлы үйкеліс- $k_{\text{үй}} = 500\text{Нс/м}$;

-Золотник жиектерімен ашылған саңылаудағы сұйықтық шығыны үшін алынған сызықтық емес мәндерді сызықтық шығынды-өтпелі мәндермен ауыстырамыз:

$$Q_3 = k_{Qx} * x_3 - k_{Qp} * p_H, \quad (5.5)$$

мұндағы:

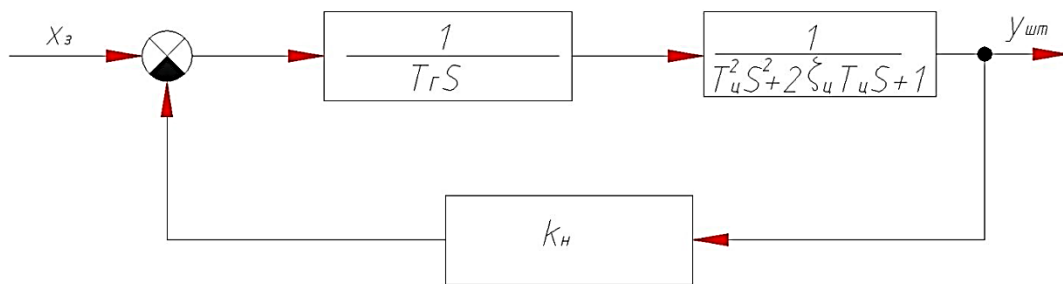
- x_3 -бейтарап орналасуға байланысты золотниктің қозғалысы;

- $p_H = p_1 - p_2$ - оң жақ және сол жақ қуыстардың қысымдардың айырмасы;

-Шток пен гидроцилиндрдің массамен келтірілген дененің байланысын абсолютты қатты деп аламыз:

$$y_{шт} = y_{д..} \quad (5.6)$$

Жоғарыда келтірілген шарттарды ескере отырып, гидрожетектің күш жағының динамикалық сипаттамасын аламыз. (Есептеулер Қосымша Е көрсетілген)



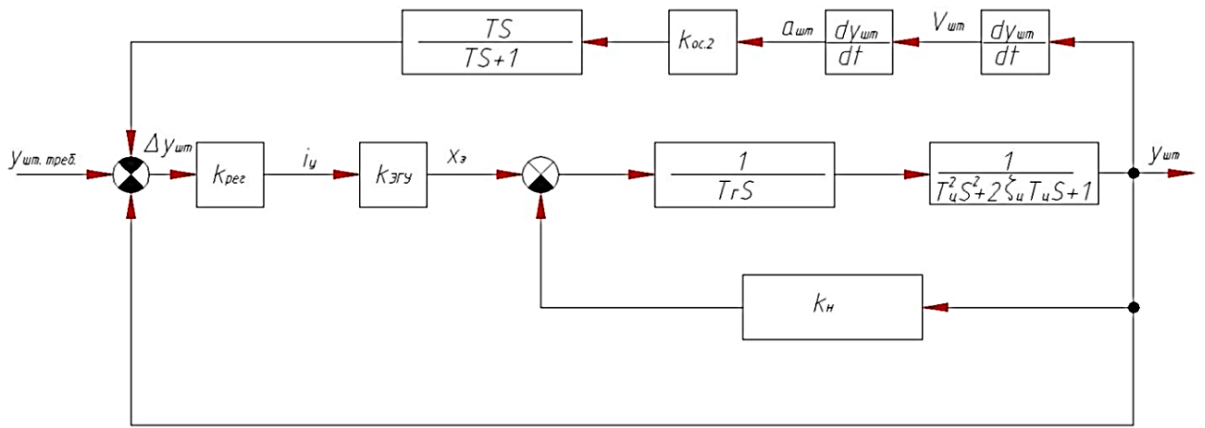
5.1 сурет -ЭГБП күш бөлігінің құрылымдық сұлбасы

$$T_r S (T_r S^2 + 2 \zeta_u T_u S + 1) y_{шт}(S) = x_3(S) - k_H y_{шт}(S), \quad (5.7)$$

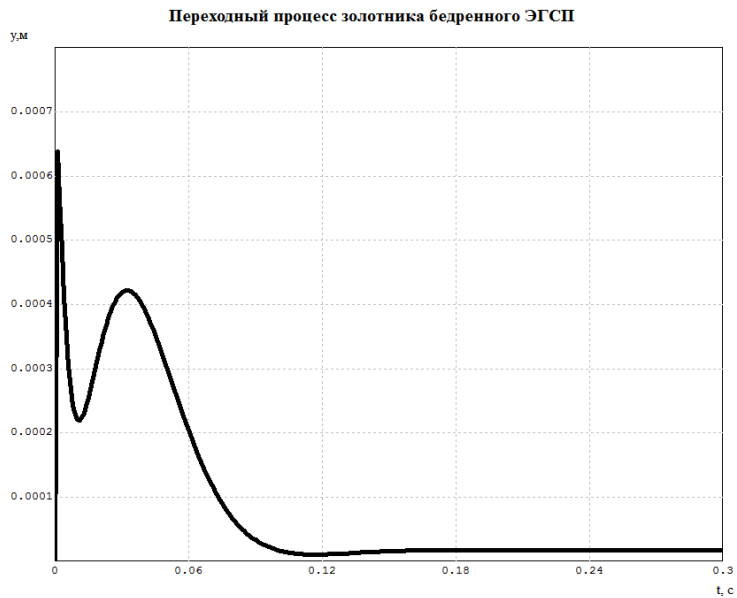
T_r -ның тұрақты уақытпен интегралдаушы звеносы гидроцилиндрдің қуысына жұмыс сұйықтығының үздіксіз берілу және ығыстыру үрдістерін сипаттау үшін қызмет етеді.

Екінші ретті тербеліс/апериодтық буын гидроцилиндрдегі сұйықтықтың қысылуын және оның штогымен біріктірілген дене массасының қозғалысын сипаттайды.

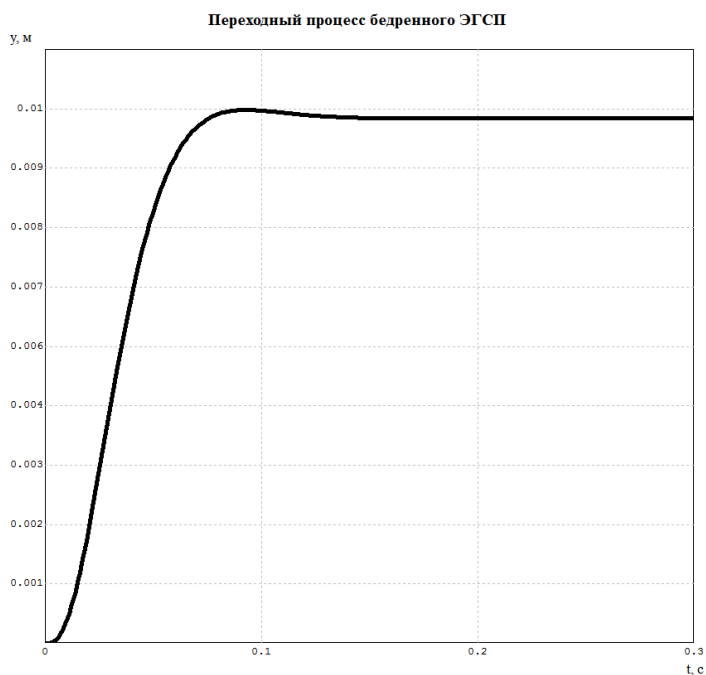
Сұлбадағы кері байланыс $y_{шт}$ шамасының сұйықтық шығынына әсер ете отырып, x_3 шамасын штоктағы позиционды жүктемесінің бар болғанына байланысты өзгертетінін көрсетеді.



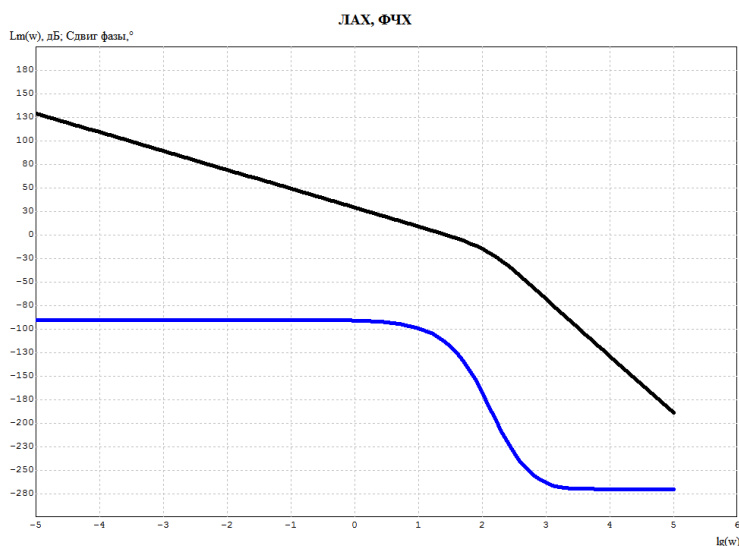
5.2 сурет -ГЦ қуыстарындағы қысымның өзгеруі бойынша түзетуші кері байланысы бар ЭГБЖ құрылымдық сұлбасы



5.3 сурет -ГЦ қуыстарындағы қысымның ауытқуы бойынша КБ бар сан бөлігіндегі ЭГБЖ алтыншасына арналған өтпелі процесс



5.4 сурет - ГЦ қуыстарындағы қысымның ауытқуы бойынша КБ бар сан бөлігіндегі ЭГБЖ алтыншасына арналған өтпелі процесс



5.5 сурет - ГЦ қуыстарындағы қысымның өзгеруі бойынша КБ - мен сан бөліктегі ЭГБЖ ашық контурының жиіліктік сипаттамасы

Мұндағы:

$-k_{\text{рег}} = 1.52$ -регулятордың күшейту коэффициенті;

$-T = 0.063\text{c}$ -өтпелі үрдістің уақыты.

5.1 ОМ бөліктегі ЭГБЖ-ның сызықтық емес-математикалық моделінің құрастырылуы

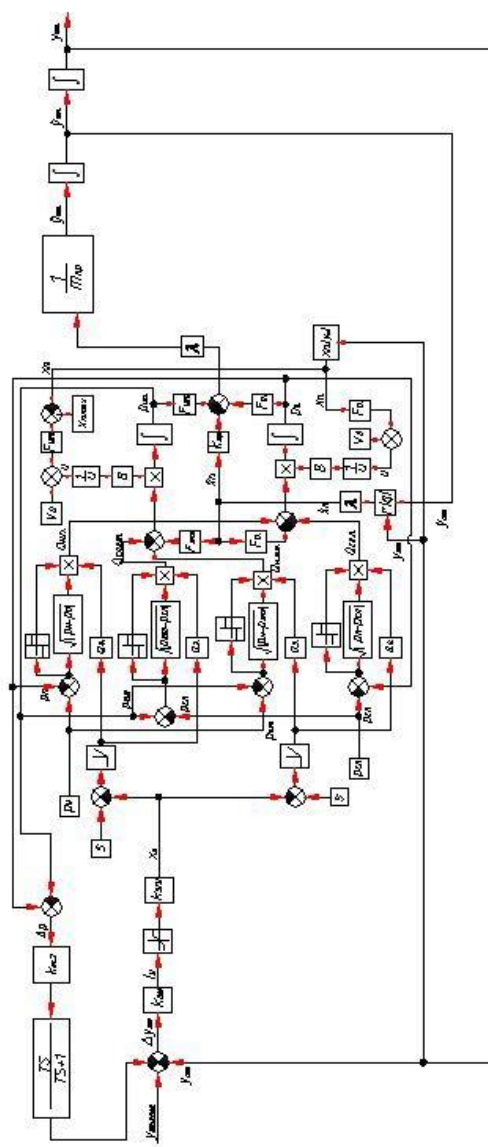
ОМ бөліктегі ЭГБЖ-тің сызықтық емес математикалық моделін келесідей тапсырмаларды орындау мақсатында жасалады:

-ЭГБЖ тің сызықтық моделі кезіндегі алынған нәтижелерді сызықтық емес модельмен салыстыру арқасында, жүйенің жұмыс істеу қабілетін тексеру мақсатында;

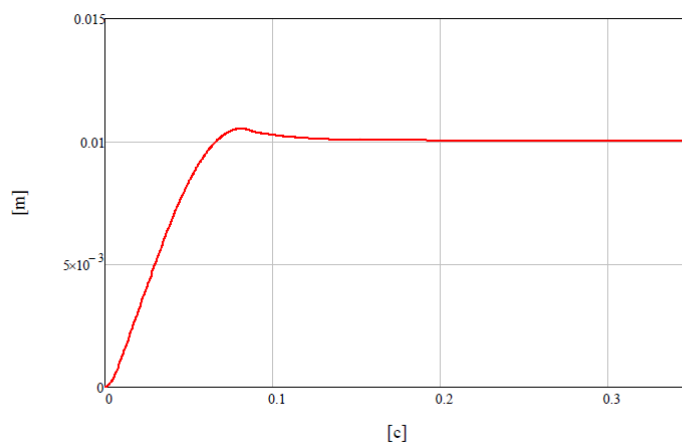
-ЭГК-тің жүйеге әсерін тексеру мақсатында;

-Жүйедегі үрдістер мен қимыл қозғалысты бақылау мақсатымен құрастырылады.

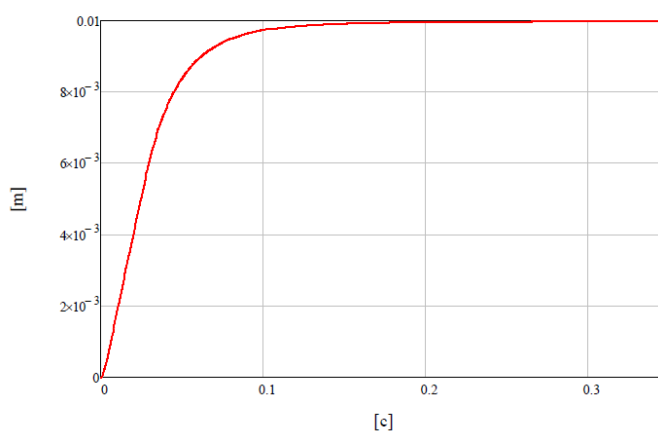
Төменде ЭГБЖ-ның сызықтық емес моделінің сұлбасы және одан алынған сипаттамалары келтірілген. (Есептеулері мен сұлбасы Қосымша Е көрсетілген)



5.6 сурет -ЭГБЖ-тің сызықтық емес математикалық құрылымдық сұлбасы



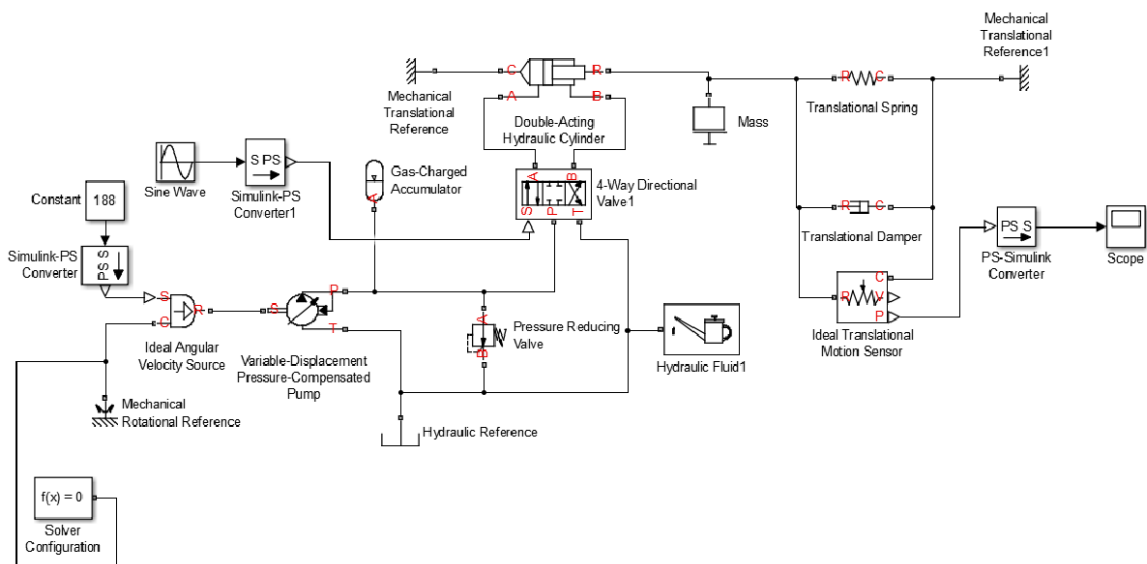
5.7 сурет - Өтпелі шток бар сан ЭГБЖ өтпелі процесі



5.8 сурет - Өтпелі штогы жоқ сан ЭГБЖ өтпелі процесі

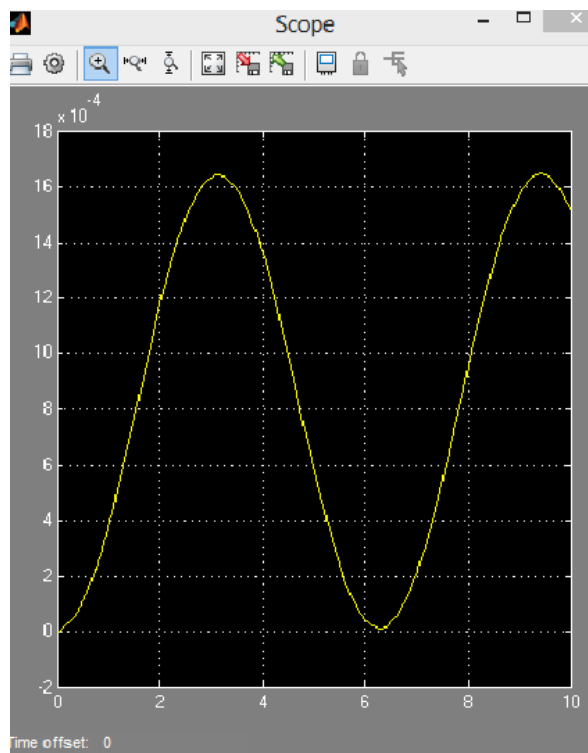
5.2 Алынған нәтижелердің негізінде гидрожетектің моделін құрастыру

Жоғарыда алынған нәтижелерді қорыта отырып, бір жүйеге сараптай отырып, мен MATLAB бағдарламалау ортасындағы, Simulink және SimHydraulics кітапханасының құраушыларының көмегімен, гидрожетектің бағдарламасының моделін сыздым және оның сипаттамасын алдым. 4.1 суретте көрсетілген сұлбаны негізге ала отырып, келесідей модельді құрастырдым:



5.9 сурет -Гидрожетекті басқару сұлбасы

Сұлбаны құрастырып болғаннан кейін, жүйенің жұмыс істеу қабілетін тексеру қажет. Симуляцияны бастап, осцилографтан жалпы жүйенің жұмыс істеу графигін аламыз.



5.10 сурет -Гидрожетек жұмысының симуляциясы

5.10 сурет бойынша, жүйенің бірқалыпты жұмыс істеп тұрғанын бақылауға болады. Яғни, MATLAB ортасында құралған бағдарламаның блок-сұлбасы жұмысқа қабілетті, әрі тиімді.

ҚОРЫТЫНДЫ

Жұмысты қорытындылайтын болсақ, адамның қолдануына ыңғайлы болатын экзоскелеттің моделі таңдалынды. Адамның аяғына бірқалыпты қозғалысты қамтамасыз ететін жетек таңдалынды. Гидрожетектің жүктеме диаграммасы тұрғызылды. Тұрғызылған диаграммалардан алынған мәндерді негізге ала отырып, MATLAB және MathCad бағдарламаларының көмегімен, гидрожетектің тиімді өлшемдері алынды. Гидравликалық сұлба мен есептелген өлшемдерді ескере отырып, гидрожетектің математикалық моделінің сызықтық және сызықтық емес сипаттамалары алынып, жүйеде және қозғалыс кезіндегі жүріп жатқан өтпелі үрдістердің сипаттамасы алынды. Алынған нәтижелерді қорыта отырып, Simulink ортасында, сан бөлігінің гидрожетегінің басқару моделі құрастырылды. Бағдарлама аясында құрастырылған модельдің және жүйенің тұрақтылығы мен жұмыс қабілеттілігі дәлелденді.

Қорытындылай келе, мен дипломдық жұмыстың басында қойылған мақсатқа жетіп, алға қойылған тапсырмаларды орындадым. Адам қолданысына және аяқ буындарының еміне тиімді әрі ыңғайлы аппараттың сан бөлігінің моделі мен жұмыс істеу сипаттамасын алдым. Алынған нәтиже адамның аяқ және бел ауруларын емдеуде қолданылатын экзоскелетте құруда қолданылады.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР

- 1 Ж.Н. Исабеков , А.О.Ермекбаева , А.К.Ковальчук «Тірек бетінің реакциясын ескере отырып, экзоскелеттің атқарушы механизмінің динамикасын зерттеу»- ҚазККА Хабаршысы № 4 (103), 2017.,
- 2 М. Д. Нуржекеева Т. С. Таласбек.: «Белсенді экзоскелеттің кинематикалық анализін жасау».- УДК 681.11.034.7
- 3 Д.Н.Попов: “Динамика и регулирование гидро- и пневмосистем”, учебник для ВУЗов.-2-е изд. Переработанное и дополненное.-Машиностроение, 1987г.-464с. с ил.
- 4 А.К.Ковальчук: Методические указания к выполнению домашнего задания по курсу “Динамика гидро- и пневмоприводов”. М.: изд. МГТУ им. Н.Э.Баумана, 1986 г.
- 5 В.М. Фомичев. Проектирование характеристик золотниковых распределителей в области “нуля” // Гидравлика и пневматика. – 2005 г. – №20. – С. 49-54.
- 6 Д.Н. Попов: “Механика гидро- и пневмосистем”, учеб. Для ВУЗов, 2-е изд.стереотип. – М.: изд. МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2002. – 320 с.: ил. (Сер.Механика в техническом университете; Т.7)
- 7 Кулаков Д.Б. Разработка и исследование исполнительного механизма с электрогидравлическими приводами для системы управления движением двуногого шагающего робота: Дис. ... канд. техн. наук. Москва, 2009. 173 с
- 8 А.К.Ковальчук, Б.Б.Кулаков, Д.Б.Кулаков, С.Е.Семёнов, В.В.Яроц: “Основы теории исполнительных механизмов шагающих роботов”. М.: изд-во “Рудомино”, 2010г. 170 с., ил
- 9 А.К.Ковальчук: Методические указания к выполнению домашнего задания по курсу “Динамика гидро- и пневмоприводов”. М.: изд. МГТУ им. Н.Э.Баумана, 1986 г.
- 10 В.А. Марутов, С.А. Павловский: “Гидроцилиндры: конструкция и расчёт”. М.:Машиностроение. 1966г. 180с.
- 11 П.Ф. Дунаев, О.П. Леликов: “Конструирование узлов и деталей машин”. Учеб.пособие для студ. техн. спец. вузов. -5-е изд., перераб. и доп. - М.:Издательский центр “Академия”, 1998 г. -452 с.
- 12 Варламова Л.П., Тибанов В.П. Методические указания к выполнению домашнего задания по разделу “Соединения” курса “Основы конструирования деталей и узлов машин” / под ред. Л.П. Варламовой. – М.: изд-во МГТУ им.Н.Э. Баумана, 2003. – 88 с.: ил.
- 13 В.М. Фомичев. Проектирование характеристик золотниковых распределителей в области “нуля” // Гидравлика и пневматика. – 2005 г. –№20. – С. 49-54.
- 14 В.М. Фомичев, О.Я. Бирюков, Ю.В. Чайковский. О влиянии противодействия и конфигурации проточной части на расходные характеристики цилиндрических золотников // Авиационная промышленность. – 1974 г. – №4. С. 32-34

15 Д.Н. Попов: “Механика гидро- и пневмосистем”, учеб. Для ВУЗов, 2-е изд. стереотип. – М.: изд. МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2002. – 320 с.: ил. (Сер.Механика в техническом университете; Т.7).

16 Курс семинарских занятий Д.Н.Попова по дисциплине: “Динамика и регулирование гидро- и пневмосистем”, 2011 уч.г.

17 Курс лекций Д.Н.Попова по дисциплине: “Динамика и регулирование гидро- и пневмосистем”, 2011 уч.г.

18 Амосов А.А., Дубинский Ю.А., Копченова Н.В. Вычислительные методы для инженеров: Учеб. пособие. – М.: Высш. шк.. 1994. – 544 с.: ил.

19 Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: В 3-х т. Т. 3. – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1982 . 576 с., ил.

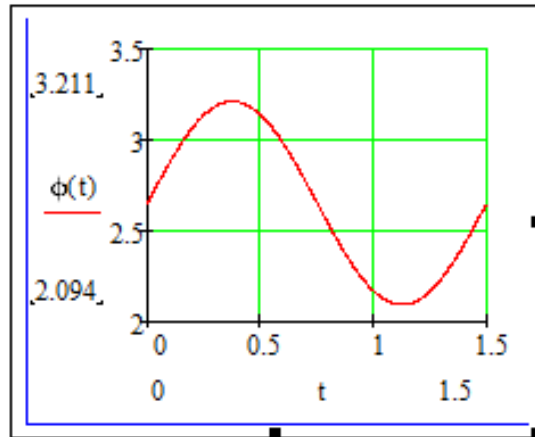
20 Курс лекций Д.Н.Попова по дисциплине: “Динамика и регулирование гидро- и пневмосистем”, 2011 уч.г.

ОМ-Орындаушы механизм.

ЭГК-Электрогидравликалық күшейткіш.

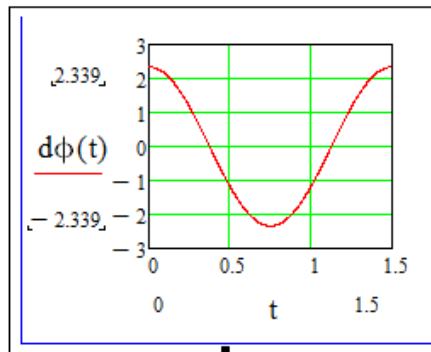
ЭГБЖ- Электрогидравликалық бақылаушы жетек.

Қосымша А
Орындаушы механизмнің графиктері



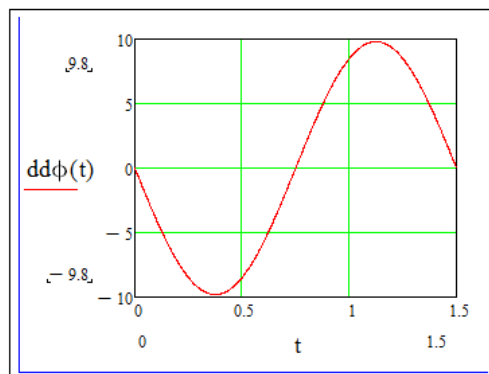
Сурет А1- Бөліктегі бұрыштың өзгеру графигі

$$d\phi(t) := \phi A \cdot \omega \cdot \cos(\omega \cdot t)$$

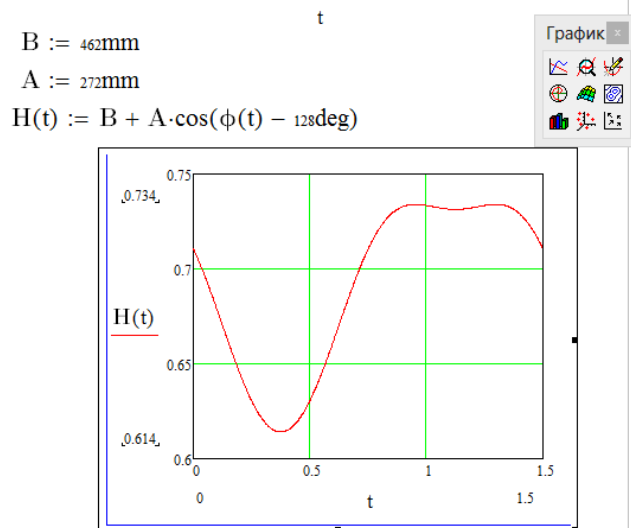


Сурет А2-Бөліктегі бұрыштық жылдамдықтың өзгеру графигі

$$dd\phi(t) := -\phi A \cdot \omega^2 \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

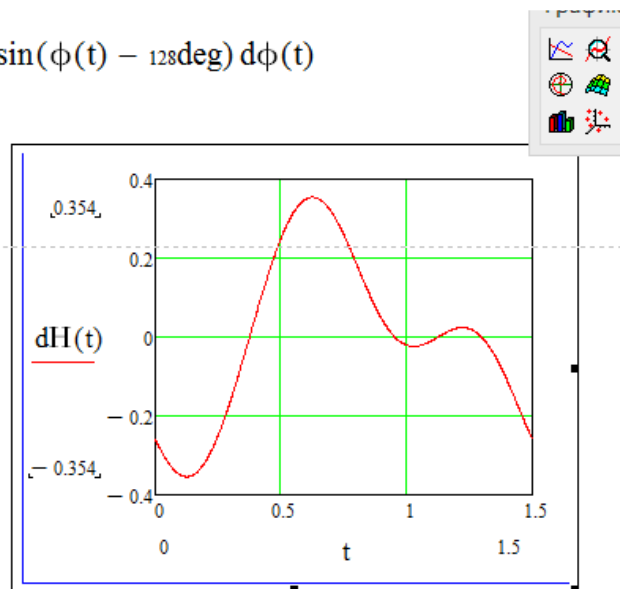


Сурет А3-Бөліктегі бұрыштық үдеудің өзгеру графигі



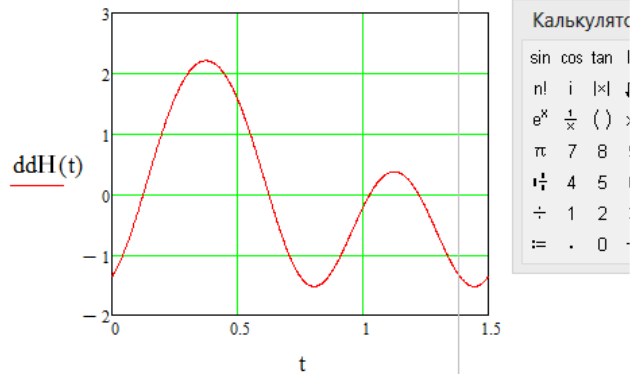
Сурет А4- Тік ось бойынша жүктің жағдайын өзгерту кестесі

$$dH(t) := -A \cdot \sin(\phi(t) - 128\text{deg}) d\phi(t)$$



Сурет А5- Вертикаль ось бойынша жүк күйінің өзгеру жылдамдығы мәнінің өзгеру кестесі

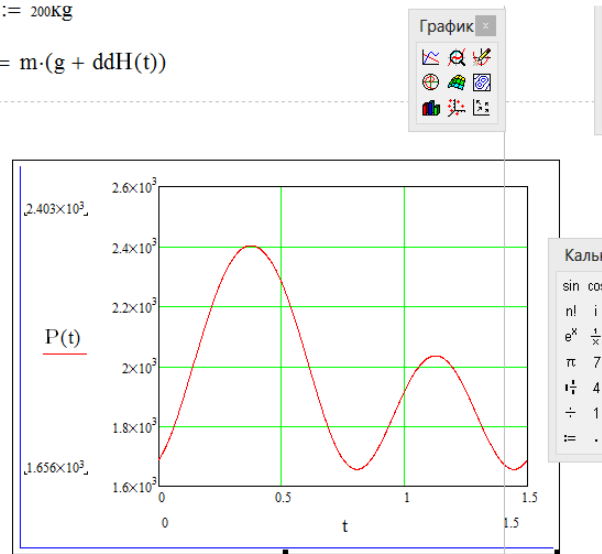
$$ddH(t) := -A \cdot \cos(\phi(t) - 128\text{deg}) \cdot (d\phi(t))^2 - A \cdot \sin(\phi(t) - 128\text{deg}) \cdot dd\phi(t)$$



Сурет А6-Вертикаль ось бойынша жүктің үдеуінің мәнінің өзгеру кестесі

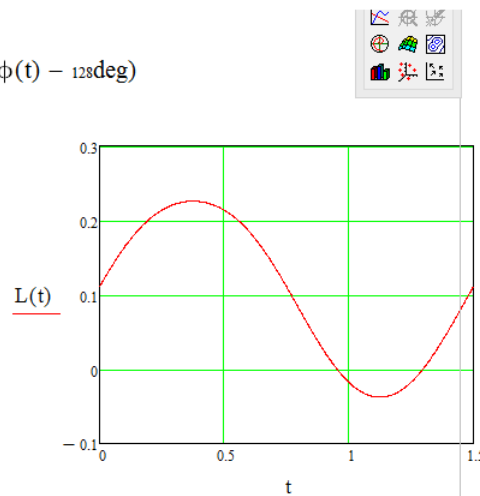
$$m := 200\text{kg}$$

$$P(t) := m \cdot (g + ddH(t))$$



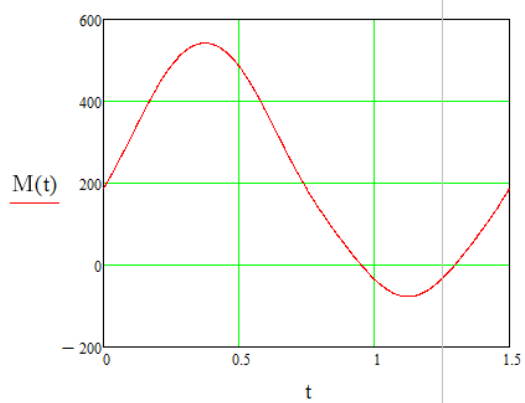
Сурет А7-Атқарушы механизммен қабылданатын күш мәнінің өзгерту кестесі

$$L(t) := A \cdot \sin(\phi(t) - 128\text{deg})$$



Сурет А8-Жүктеменің иін мәнін өзгерту кестесі

$$M(t) := P(t) \cdot L(t)$$

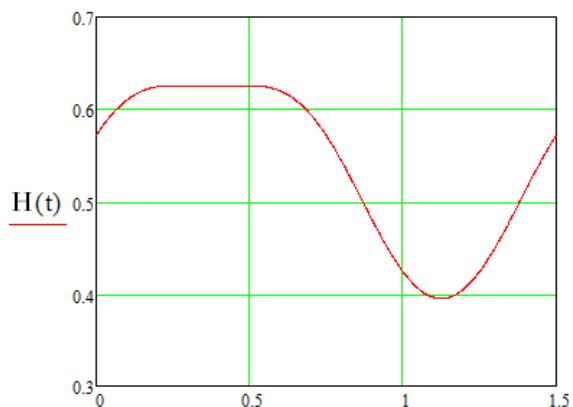


Сурет А9- Жүктеменің иін мәнін өзгерту кестесі

Жүру процесінде бөліктегі бұрышының өзгеру жағдайы үшін атқару механизмінің жүктеме диаграммасын құру

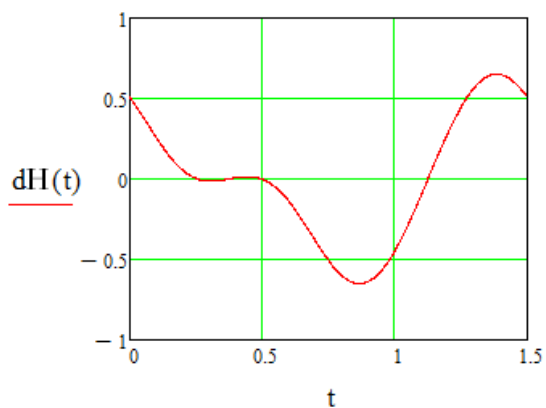
$$\alpha := 53\text{deg}$$

$$H(t) := -B \cdot \cos(\phi(t)) + A \cdot \cos(\alpha)$$



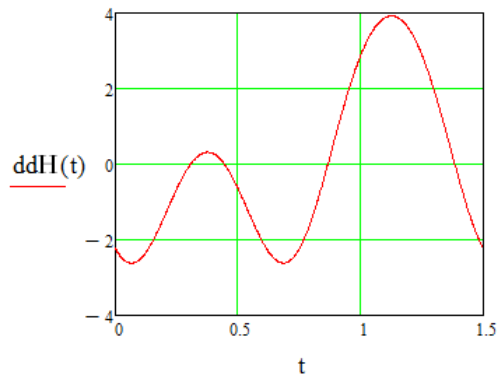
Сурет Б1-Вертикаль ось бойынша жүктің орналасуының өзгерту графигі

$$dH(t) := B \cdot \sin(\phi(t)) \cdot d\phi(t)$$



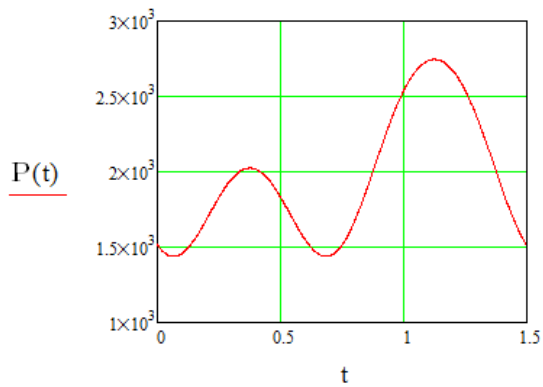
Сурет Б2-Вертикаль ось бойынша жүк орналасуының өзгеру жылдамдығы мәнінің өзгеру графигі

$$\underline{\underline{ddH(t)}} := B \cdot \cos(\phi(t)) \cdot (d\phi(t))^2 + B \cdot \sin(\phi(t)) \cdot dd\phi(t)$$



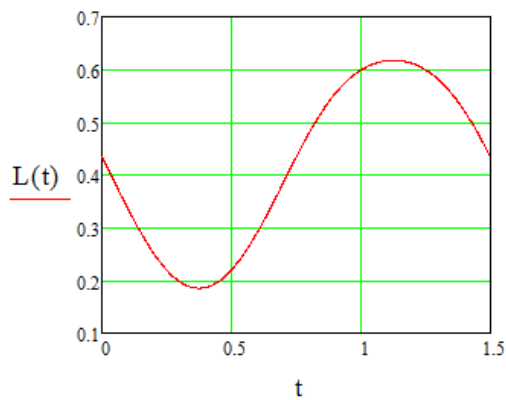
Сурет Б3-Вертикаль ось бойынша үдеудің мәнінің өзгеру кестесі

$$\underline{\underline{P(t)}} := m \cdot (g + ddH(t))$$



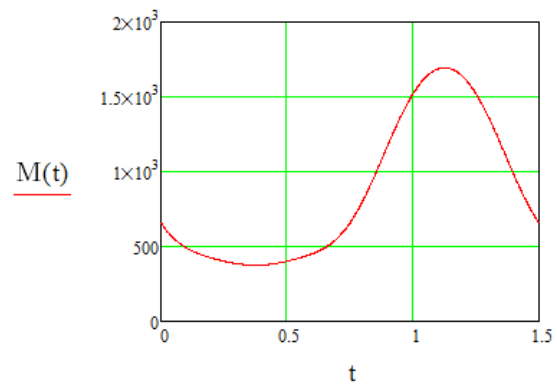
Сурет Б4-Орындаушы механизмнің қабылданатын күш мәнінің өзгерту кестесі

$$\underline{\underline{L(t)}} := B \cdot \sin(\phi(t)) + A \cdot \sin(\alpha)$$



Сурет Б5-Иін мәнін өзгерту графигі

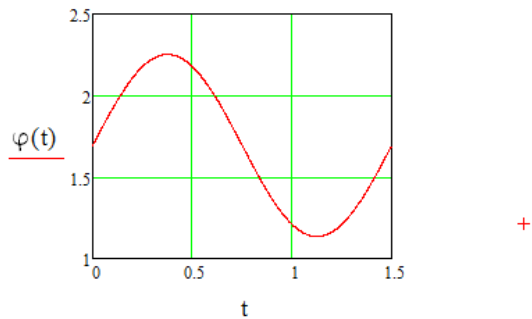
$$M(t) := P(t) \cdot L(t)$$



Сурет Б6-Момент мәнінің өзгеру графигі

Қосымша В
Гидрожетектің жүктеме диаграммасының графиктері

$$\varphi(t) := \phi(t) - 55\text{deg}$$

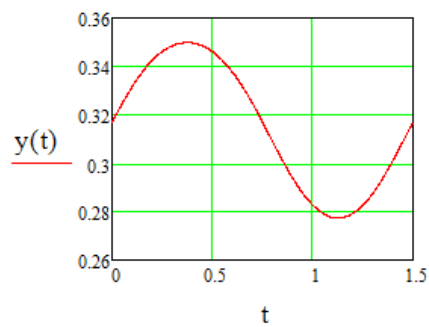


Сурет В1- $\varphi_{\text{цил}}$ бұрышының уақытқа байланысты өзгеруі

$$a := 300\text{mm}$$

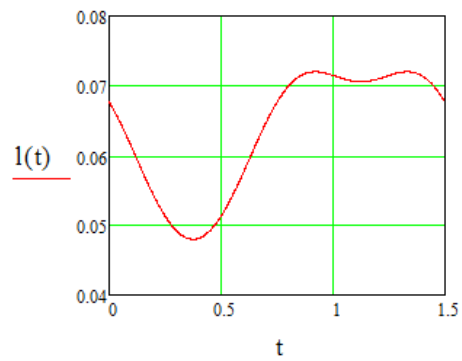
$$b := 72\text{mm}$$

$$y(t) := (a^2 + b^2 - 2 \cdot a \cdot b \cdot \cos(\varphi(t)))^{\frac{1}{2}}$$



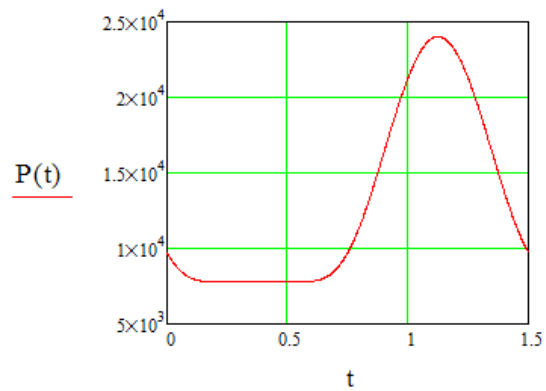
Сурет В2- Бекітпе орталарының арасындағы қашықтықтың өзгеру графигі

$$l(t) := \frac{(a \cdot b \cdot \sin(\varphi(t)))}{y(t)}$$



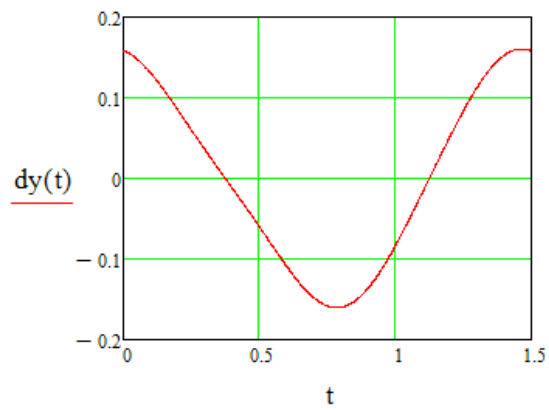
Сурет В3- Күш иінінің уақытқа байланысты өзгеру графигі

$$P(t) := \frac{M(t)}{l(t)}$$



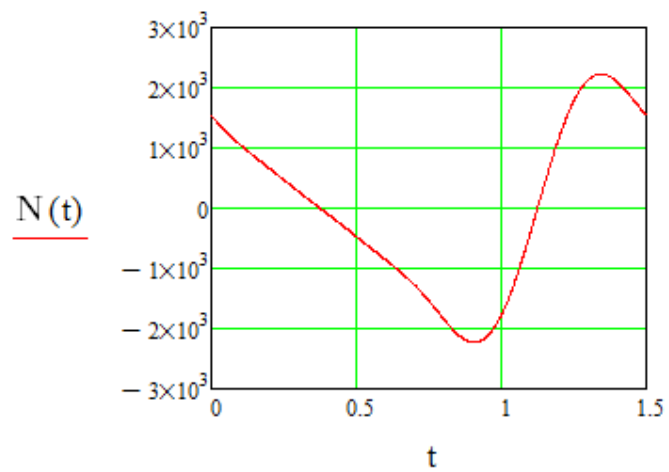
Сурет В4- Гидроцилиндрдегі өсетін күштің өзгеру графигі

$$dy(t) := d\phi(t) \cdot l(t)$$



Сурет В5- Уақыт бойынша шток қозғалысының жылдамдығының өзгеруі

$$N(t) := P(t) \cdot dy(t)$$



Сурет В6- Уақыт өте келе гидроцилиндрмен дамидын қуаттың өзгеріс графигі

Гидроцилиндрді есептеу үшін бастапқы деректерді алу үшін жүргізілген Mathcad ортасындағы есептеулер

$$\begin{aligned}
 t &:= T \\
 t &\geq 0 \\
 t_{\max} &:= \text{Maximize}(P, t) \\
 t_{\max} &= 1.125 \text{ s} \\
 P_{\max} &:= P(t_{\max}) \\
 P_{\max} &= 2.745 \times 10^3 \text{ N} \\
 dy(t_{\max}) &= 0 \frac{\text{m}}{\text{s}} \\
 \phi(t_{\max}) &= 2.094 \quad +
 \end{aligned}$$

Сурет Г1-Гидроцилиндр дамытатын максималды күшті алу үшін жүргізілген есептеулер

$$\begin{aligned}
 t &\geq 0 \\
 t_{\max 1} &:= \text{Maximize}(dy, t) \\
 dy_{\max} &:= dy(t_{\max 1}) \\
 dy_{\max} &= 0.16 \frac{\text{m}}{\text{s}} \\
 P_{\max 1} &:= P(t_{\max 1})
 \end{aligned}$$

Сурет Г2- Шток қозғалысының максимал жылдамдығы табу үшін жүргізілген есептеулер

$$t \geq 0$$

$$t \leq T$$

$$t_{\max 2} := \text{Maximize}(y, t)$$

$$t_{\min} := \text{Minimize}(y, t)$$

$$t_{\min} = 1.125 \text{ s}$$

$$y_{\max} := y(t_{\max 2}) = 0.35 \text{ m}$$

$$y_{\min} := y(t_{\min}) = 0.277 \text{ m}$$

$$\Delta y := y_{\max} - y_{\min} = 0.072 \text{ m}$$

Сурет ГЗ- Гидроқозғалтқыштың шығу буынының бір шеткі жағдайдан екіншісіне ең жоғары жылжу мәнін табу үшін жүргізілген есептеулер

Қосымша Д
Гидроцилиндрдің ұзындығын есептеу

$$\varphi_m := 3.211 \text{ rad}$$

$$M_t := 1950 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$A := M_t \cdot \varphi_m$$

$$A = 6.261 \times 10^3 \text{ J}$$

$$\rho_b := 7850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$g := 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$\gamma_{st} := \rho_b \cdot g = 7.693 \times 10^4 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}^2}$$

$$\sigma_{vst} := 980 \text{ MPa}$$

$$n := 3.5$$

$$\sigma_{dopst} := \frac{\sigma_{vst}}{n} = 2.8 \times 10^8 \text{ Pa}$$

Сурет Д1-Mathcad ортасында гидроцилиндр ұзындығын есептеу

$$p_n := 20 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

$$k_c := \frac{1}{2} \cdot \left[\sqrt{\frac{(2 \cdot \sigma_{dopst})}{(2 \cdot \sigma_{dopst} - 2 \cdot p_n)}} - 1 \right] = 0.019$$

$$k_{f1} := 0.25$$

$$k_{f2} := 0.25$$

$$p_{ag} := 0.5 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

$$k_{tub1} := \sqrt{\frac{(k_{f1} \cdot p_n \cdot n)}{\sigma_{vst}}} = 0.134$$

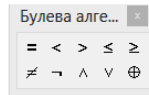
$$k_{tub2} := \sqrt{\frac{(k_{f2} \cdot p_n \cdot n)}{\sigma_{vst}}} = 0.134$$

$$k_p := \sqrt{\frac{[(p_n - p_{ag}) \cdot n]}{\sigma_{vst}}} = 0.264$$

Сурет Д2-Mathcad ортасында гидроцилиндр ұзындығын есептеу

$$\pi = 3.142$$

$$kc1 := 0.17$$



$$kG1 := \pi \cdot \gamma \cdot st \cdot \sqrt{\frac{A^3}{\pi^3 \cdot (pn - pag)^3}} \cdot (s \cdot kc1 \cdot ktub1 + s \cdot kc1 \cdot ktub2 + s \cdot kc1 \cdot kp + kc1^2 \cdot ktub1 + 16 \cdot kc1^2 + 2 \cdot ktub1 + 2ktub2 + 2kp) = 0.562 \frac{m^{2.5} \cdot kg}{s^2}$$

Сурет Д3- Гидроцилиндр ұзындығын есептеу

$$k3 := 1$$

$$E := 2.1 \cdot 10^5 \text{MPa}$$

$$kd := 1.15$$

$$\mu := 1$$

$$ny := 1.5$$

$$kG4 := \frac{\pi \cdot \gamma \cdot st}{4} \cdot 16 \cdot \sqrt{\frac{(kd \cdot A \cdot ny \cdot \mu \cdot 4)}{\pi^3 \cdot k3 \cdot E}}$$

$$kG4 := 1.9 \cdot 10^2 \frac{kg}{m^{0.5} s^2}$$

$$L := \left(\frac{kG1}{kG4} \right)^{\frac{1}{3}} = 0.144 \text{ m}$$

Сурет Д4- Гидроцилиндр ұзындығын есептеу

Қосымша Е
Гидрожетектің математикалық моделін жасау

$$T_r = \frac{S_n}{k_{Qx}};$$

$$T_u = \sqrt{\frac{m}{C_u}};$$

$$C_u = 2S_n^2 \frac{E_u}{V_0};$$

$$\zeta_u = \frac{0.5k_{rp} + k_{QP} m E_u / V_0}{\sqrt{m C_u}};$$

$$k_n = \frac{k_{QP} C_n}{k_{Qx} S_n}.$$

Сурет Е1-Сызықтық математикалық моделін есептеу

$$S_n = \frac{\pi D_u^2}{4};$$

$$k_{Qx} = \frac{\partial Q_3}{\partial x_3} \Big|_{p_{n0}, x_{30}} = \dot{k}_3 \sqrt{\frac{p_n - p_{cl} - p_{n0} \cdot \text{sign} x_{30}}{2}};$$

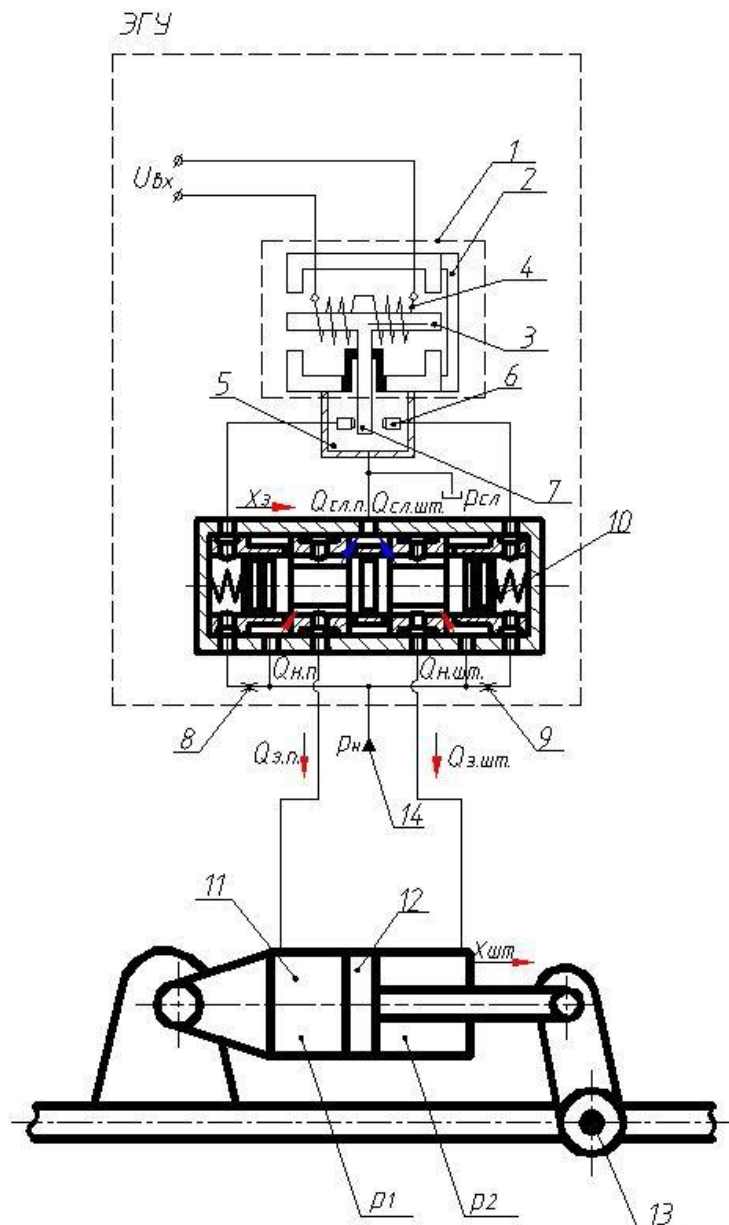
$$k_{QP} = \frac{\partial Q_3}{\partial x_n} \Big|_{p_{n0}, x_{30}} = \left| \frac{\dot{k}_3 x_{30}}{2\sqrt{2}(p_n - p_{cl} - p_{n0} \cdot \text{sign} x_{30})} \right|;$$

$$k_{Qx} = \dot{k}_3 \sqrt{\frac{p_n - p_{cl}}{2}};$$

$$k_{QP} = \left| \frac{\dot{k}_3 x_{30}}{2\sqrt{2}(p_n - p_{cl})} \right|.$$

$$\dot{k}_3 = \mu_3 \pi d_3 k_n \sqrt{\frac{2}{\rho}};$$

Сурет Е2-Сызықтық математикалық моделін есептеу



Сурет ЕЗ-ЭГБЖ есептеуге арналған сұлба

Мұндағы:

- 1-электромеханикалық түрлендіргіш;
- 2-статор;
- 3-зәкір;
- 4-басқару орамалары;
- 5-саптама-жапқыш;
- 6-саптама;
- 7-жапқыш;
- 8,9-гидравликалық көпірдің дросселі;
- 10-таратушы золотник;
- 11-цилиндр;
- 12-поршень;
- 13-кері

байланыс

датчигі;

- 14-қорек көзі;
- $U_{\text{кір}}$ -кіріс кернеу;
- x_3 -золотник қозғалысының тура бағыты;
- $Q_{\text{сл.п}}$ -поршеньнен шығатын шығын;
- $Q_{\text{сл.шт}}$ -штоктан шығатын шығын;
- $p_{\text{сл}}$ -ағыс қысымы;
- p_1 -ГЦ поршенінің қуысының қысымы;
- p_2 -ГЦ штогының қуысының қысымы;
- $p_{\text{н}}$ -қорек көзінің қысымы;

$$(m_{\text{пр}} + m_{\text{п}}) \cdot \frac{dy_{\text{шт}}}{dt} = -C_{\text{н}} \cdot y_{\text{шт}} - P_{\text{тр}} + S_1 p_1 - S_2 p_2$$

$$\frac{dy_{\text{шт}}}{dt} = V_{\text{шт}}$$

$$\frac{dV_{\text{шт}}}{dt} = -\frac{C_{\text{н}}}{M} y_{\text{шт}} - \frac{k_{\text{тр}}}{M} V_{\text{шт}} + \frac{S_1 p_1 - S_2 p_2}{M}$$

$$\rho Q_{31} = \rho \frac{d(V_1 + V_{1л})}{dt} + \rho \frac{V_1 + V_{1л}}{B_{\text{см1}}} \cdot \frac{dp_1}{dt}$$

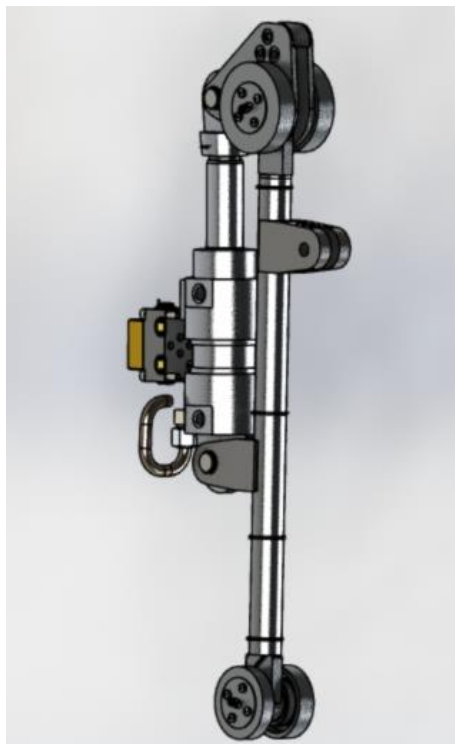
$$V_1 = S_1 y_{\text{шт}} + V_{\text{м1}}$$

$$B_{\text{см1}} = \frac{B_{\text{ж}}}{1 + \frac{\alpha_{\text{н}} B_{\text{нл}}}{B_{\text{в}}}}$$

$$\frac{dp_1}{dt} = \frac{B_{\text{см1}}}{S_1 y_{\text{шт}} + V_{\text{м}} + V_{1л}} (Q_{31} - S_1 V_{\text{шт}})$$

$$\frac{dp_2}{dt} = \frac{B_{\text{см2}}}{S_2 (y_{\text{шт}} - y_{\text{шт}}) + V_{\text{м2}} + V_{2л}} (S_2 V_{\text{шт}} - Q_{32})$$

Сурет Е4-Сызықтық емес математикалық моделін алу



Сурет Ж1-Сан бөлігінің 3д моделі



Сурет Ж2-Экзоскелеттің 3д моделі