Кыргыз Республикасынын Улуттук илимдер академиясынын машинатаануу, автоматика жана геомеханика институту

И. Раззаков атындагы Кыргыз мамлекеттик техникалык университети

Д 05.24.703 диссертациялык кеңеши

Кол жазма укугунда

УДК 621.01

Кынатбекова Нуржамал Нуржановна

Динамикалык байланыштуу түзүмү өзгөрүлмө сокку механизминин динамикасы

05.02.18 – механизмдер жана машиналар назарияты

техника илимдеринин кандидаты илимий даражасын алуу үчүн диссертациясынын
Автореферахы

Бишкек 2025

Диссертациялык иш Кыргыз Республикасынын Улуттук илимдер академиясынын машинатаануу, автоматика жана геомеханика институтунун "Таш казуучу комплекстери" лабораториясында аткарылды.

Илимий жетекчиси:	**Усубалиев Жеңишбек,** техника илимдеринин кандидаты, профессор, КР УИАнын машинатаануу, автоматика жана геомеханика институтунун башкы илимий кызматкери.
Расмий оппоненттер:	**Садиева Анаркүл Эсенкуловна** техника илимдеринин доктору, профессор (И. Раззаков атындагы мамлекеттик техникалык университетинин "Тамак-аш өндүрүшүнүн машиналары жана аппараттары" кафедрасынын башчысы). **Аканов Доолотбек Кусейинович** техника илимдеринин кандидаты, доцент (К. Тыныстанов атындагы Ыссык-Көл мамлекеттик университетинин "Физика жана инженердик технология" кафедрасынын башчысы).
Жетектөөчү мекеме:	Кыргыз улуттук агрардык университети, "Колдонмо механика, физика жана инженердик педагогика" кафедрасы (720005, Бишкек ш., Медеров көч., 68).

Диссертацияны коргоо **2025-жылдын 28-февралында саат 16:00дө** Кыргыз Республикасынын Улуттук илимдер академиясынын машинатаануу, автоматика жана геомеханика институтунун алдындагы техника илимдеринин кандидаты окумуштуулук даражасын изденип алуу үчүн диссертацияларды коргоо боюнча Д 05.24.703 диссертациялык кеңешинин отурумунда өткөрүлөт. И. Раззаков атындагы Кыргыз Республикасынын Билим берүү жана илим министрлигинин дареги боюнча: 720055, Бишкек ш., Скрябин көч., 23.

Онлайн коргоо берүүнүн идентификациялык коду https://vc.vak.kg/b/052-xlj-xui-jwa .

Диссертация менен Кыргыз Республикасынын Улуттук илимдер академиясынын Машина таануу, автоматика жана геомеханика институтунун (720055, Бишкек ш., Скрябин көч., 23) жана И.Раззаков атындагы Кыргыз мамлекеттик техникалык университетинин китепканаларынан таанышууга болот. (720044, Бишкек шаары, Ч.Айтматов проспектиси, 66) жана Кыргыз Республикасынын Президентине караштуу Улуттук аттестациялык комиссиянын сайтында: http://vak.kg

Автореферат 2025-ж. «27» январында жөнөтүлгөн.

Д.05.24.703 диссертациялык кеңештин
окумуштуу катчысы, т.и.к., у.и.к. Эликбаев К.Т.

ИШТИН ЖАЛПЫ МҮНӨЗДӨМӨСҮ

Диссертациянын темасынын актуалдуулугу. Азыркы учурда Кыргызстанда өнөр жай жана жарандык курулуш, кен казып алуучу тоо-кен өнөр жайын (көмүр, табигый таштар ж.б.) өнүктүрүү жаатында региондордун потенциалын жогорулатуу боюнча олуттуу чаралар көрүлдү. Автомобиль жолдорун курууну жана реконструкциялоону өнүктүрүү КР Өкмөтүнүн программасында каралган.

Курулуш жана оңдоо иштеринин олуттуу көлөмү объектке сокку жүктөмдөрдүн кыска мөөнөттүү таасиринде технологиялык операцияларды аткарууга арналган кол машиналардын жана механикалаштырылган аспаптардын жардамы менен аткарылат. Механикалык сокку механизмдери алардын элементтерине таасир эткен статикалык жүктөмдөрдөн кыйла жогору болгон жогорку интенсивдүү жүктөмдөрдөн улам төмөн бышыктыкка ээ.

Ошондуктан, механизмдин конструкциялык сөлөкөтүн негиздөө, мында механизмдин өзүн жок кылган реактивдүү күчтөр минималдуу жана бул сөлөкөтүнүн негизинде сокку түзүлүшүнүн конструкциясын түзүү актуалдуу маселе болуп саналат.

Диссертациянын темасынын ири илимий программалар (долбоорлор) жана негизги илимий - изилдөө иштери менен байланышы.

Диссертациянын темасынын ири илимий программалар жана негизги илимий-изилдөө иштери менен байланышы: бул иш КР УИАнын машинатаануу институтунун илимий-изилдөө иштеринин пландарына ылайык аткарылган: "Кыргыз Республикасынын өнөр жайынын артыкчылыктуу тармактары үчүн техника жана технология" (2015-2017 жж.), "Кыргызстандын өнөр жайынын артыкчылыктуу тармактары үчүн импортту алмаштыруучу техниканы жана технологияларды иштеп чыгуу" (2018-2020 жж.), "Өнөр жай, курулуш жана айыл чарбасы үчүн энергияны жана материалды үнөмдөөчү машиналарды жана жабдууларды изилдөө, түзүү жана өркүндөтүү" (2021 – 2023 жж.).

Максаты жана изилдөө маселелери.

Иштин максаты динамикалык байланыштуу урма түзүмү өзгөрүлмө механизминин (ТӨМ) динамикасын изилдөө жана жөнөкөйлүгү, жогорулатылган ишенимдүүлүгү жана бышыктыгы менен айырмаланган кол урма механизмдеринин конструкцияларынын рационалдык өлчөм мүнөздөмөлөрүн болжолдоо жана тандоо ишке ашырыла турган мыйзам ченемдүүлүктөрүн табуу болуп саналат.

Изилдөө маселелери:

- табигый таштарды жана башка катуу материалдарды талкалоо жана иштетүү үчүн кол сокку механизмдеринин сөлөкөттөрүн салыштырмалуу серептөө жана талдоо;
- кол сокку машиналардын классификациясын иштеп чыгуу;

- динамикалык түзүмү өзгөрүлмө сокку механизминин кинематикасын, кинетостатикасын жана динамикасын изилдөөнүн ыкмаларын карап чыгуу;
- узак түбөлүктүү жана ишенимдүү кол сокку механизмин түзүү үчүн, динамикалык байланыштуу кол сокку ТӨМдүн конструкциялык сөлөкөтүн негиздөө жана иштеп чыгуу;
- кол сокку механизмдердин кинематикасын изилдөөнүн аналитикалык усулдарын серептөө жана талдоо;
- сокку массасынын кыймылынын математикалык үлгүсүн түзүү;
- сокку механизминин негизги өлчөм мүнөздөмөлөрүн усулдугун жана эсептөө алгоритмин иштеп чыгуу;
- динамикалык байланыштуу сокку ТӨМдүн кинематикасын, кинетостатикасын жана динамикалык мүнөздөмөлөрүн изилдөө;
- динамикалык байланыштуу кол сокку ТӨМдүн конструкциясын иштеп чыгуу;
- динамикалык байланыштуу кол сокку ТӨМдүн эксперименттик изилдөөлөрдү жүргүзүү усулдугун иштеп чыгуу;
- эксперименттик изилдөөлөрдүн натыйжаларын талдоо жана назарияттык маалыматтар менен салыштыруу;
- конструкцияны жакшыртуу боюнча сунуштарды иштеп чыгуу.

Иштин илимий жаңылыгы:

- түзүмүн өзгөртүүнүн мүнөзү боюнча кол сокку механизмдеринин классификациясын толуктоо;
- сокку массанын артка секирүү жана айлануу жээк жакка чыгышы учурундагы механизмдин кыймылынын серпилгич ийин күчтөрүн эске алган динамикалык байланыштуу сокку механизмдин математикалык үлгүсүн иштеп чыгуу;
- сокку механизмдин рационалдуу өлчөм мүнөздөмөлөрүн аныктоого мүмкүндүк берген кинематикалык, кинетостатикалык жана динамикалык мүнөздөмөлөрүн аныктоо усулдугун иштеп чыгуу менен.

Алынган жыйынтыктардын иш жүзүндөгү мааниси:

- динамикалык байланыштуу түзүмү өзгөрүлмө сокку механизминин рационалдуу өлчөм мүнөздөмөлөрүн аныктоонун инженердик усулдугу иштелип чыкты;
- сокку энергиясы 50 жана 100 Дж болгон динамикалык байланыштуу эки массалуу сокку ТӨМдүн экспериментaлдык үлгүлөрүнүн конструкциясы иштелип чыкты;
- динамикалык байланыштуу сокку ТӨМдү эксперименттик изилдөө жүргүзүү үчүн сынама иштелип чыкты;
- сокку механизминин туруктуу иштешин камсыз кылуу боюнча сунуштар иштелип чыкты.

Диссертациянын коргоого чыгарылган негизги жоболору:

1. Түзүмү өзгөрүлмө механизмдердин ордун аныктоого мүмкүндүк берген кол сокку механизмдердин кеңейтилген классификациясы.

2. Иштөө циклинин ар кандай фазаларындагы кыймылын сүрөттөгөн динамикалык байланыштуу түзүмү өзгөрүлмө эки массалык сокку механизминин математикалык үлгүсү:

- сокку массанын артка секирүү процесси, кагылышуу учурундагы жана андан кийин сокку массасынын кыймылынын үлгүсүн аныктайт;

- сокку массасынын айлануу жээк жакка чыгуу шарттамын аныктоочу сокку алдындагы абалга чыгышы.

3. Реактивдүү күчтөргө жетектөөчү тогоонун бурчтук ылдамдыгынын термелүүсүнүн таасирин эске алуу менен ийри муунактын тегиз эмес айлануусунда динамикалык байланыштуу сокку механизминин кинетостатикалык талдоо ыкмасы.

4. Ийри муунак жана тээк тогоолорунун узундуктарынын рационалдуу катышын аныктоого мүмкүндүк берген динамикалык байланыштуу кол сокку ТӨМдүн өлчөм мүнөздөмөлөрүн эсептөө ыкмасы.

Изденүүчүнүн жеке салымы.

Диссертациялык иште берилген жана илимий жаңылыкка ээ болгон бардык натыйжалар илимий жетекчинин жетектөөсү менен автор тарабынан алынган.

Биргелешкен эмгектерде [1-11, 16], Ж. Усубалиевге изилдөө маселесинин коюлушу, ал эми авторлоштор К.Т. Эликбаевге жана Т. О. Райымбабаевге — өлчөө аппаратурасын тандоо, сокку механизминин жумушчу долбоорун иштеп чыгуу жана эксперименталдык изилдөөлөргө техникалык колдоо көрсөтүү таандык.

Эмгектерде [12, 14, 15] Еремянц В. Э. изилдөө маселесинин коюлушу, ошондой эле тышкы күчтөрдү эске албастан сокку механизминин математикалык үлгүсүн түзүүгө жардам берүү таандык.

Изилдөөлөрдүн натыйжаларын апробациялоо. Диссертациялык иштин негизги жыйынтыктары конференцияларда талкууланды: А.В. Фроловдун 80 ж. арналган "Машиналардын жана жумушчу процесстердин назарияты" эл аралык илимий-иш жүзүндөгү конференция (КР УИАнын ИМаш, Бишкек ш., 2016-ж.); X-чу жаш окумуштуулардын жана студенттердин "Илимий изилдөөлөрдөгү заманбап техника жана технологиялар" эл аралык конференциясы (РИА илимий чордону, Бишкек ш., 2018-ж.); "Маалыматтын, механиканын жана робототехниканын актуалдуу көйгөйлөрү. Машина куруудагы санариптик технологиялар" (ИМаш РК, Алматы ш., 2018-ж.); С. Абдраимовдун 75 ж. арналган жаш окумуштуу-механиктердин республикалык жайкы мектеби (ОшТУ). Адышева, Ош ш., 2019-ж.); "Машиналардын механикасынын актуалдуу маселелери" эл аралык илимий-иш жүзүндөгү конференция (КР УИА ИМА, Бишкек ш., 2019-ж.); Кытай жана Евразия өлкөлөрүнүн жаш окумуштууларынын конференциясы (ШКУ ДДКК, Пекин ш., 2019-ж.); "Илимий-техникалык жана билим берүү мейкиндигиндеги интеграциялык процесстер" эл аралык тармактык илимий-иш жүзүндөгү конференция (КМКТАУ им. Исанова, Бишкек ш., 2021-ж.);

КР эл аралык илимий-иш жүзүндөгү конференция (МС УИЦ, Санкт-Петербург ш., 2021-ж.); "Машиналардын жана жумушчу процесстердин назарияты" эл аралык илимий-иш жүзүндөгү конференция (КР УИА Има, Бишкек ш., 2021-ж.); Эл аралык илимий-иш жүзүндөгү конференция "Илим, билим берүү, инновациялар жана технологиялар: баалоолор, көйгөйлөр, чечүү жолдору "(КР УИА ИМА, Бишкек ш., 2022-ж.); Академик О. Д. Алимовдун 100 ж. арналган "Машиналар назарияты жана технологиялык процесстерди автоматташтыруу" эл аралык илимий-иш жүзүндөгү конференция (КР УИА ИМА, Бишкек ш., 2023-ж.); "Санариптештирүү доорунда фундаменталдык жана колдонуу илимдерди өнүктүрүүнүн актуалдуу көйгөйлөрү жана перспективалары" эл аралык илимий-иш жүзүндөгү конференция (ОшТУ, Ош ш., 2024-ж.).

Диссертациянын жыйынтыктарын басылмаларда чагылдыруунун толуктугу. Аткарылган изилдөөлөрдүн жыйынтыгы боюнча 16 басма иши, анын ичинде 3 - РИНЦ базасына кирген чет элдик басылмаларда, 1 – жеке жарыяланган.

Диссертациянын структурасы жана көлөмү. Диссертациялык иш кириш сөздөн, беш бөлүмдөн, корутундудан жана тиркемеден турат. 137 барактан турган машинкага басылган тексттен турат, ага 9 таблица, 79 сүрөт, 70 аталыштан турган библиографиялык тизме жана 13 тиркеме кирет.

ИШТИН НЕГИЗГИ МАЗМУНУ

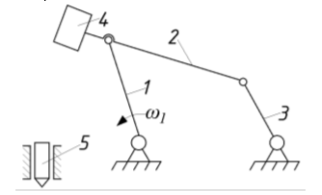
Киришүүдө иштин жалпы мүнөздөмөсү берилген, теманын актуалдуулугу негизделген, изилдөөнүн максаты жана маселелери аныкталган, коргоого коюлган негизги жоболору баяндалган, илимий жаңылуулугу жана изилдөөнүн натыйжаларын иш жүзүндө ишке ашыруунун багыттары чагылдырылган.

Биринчи бапта тоо-кен, курулуш, жол-оңдоо иштери, машина куруу технологиялык жараяндарда, таш кайра иштетүүдө кол сокку механизмдерин колдонуу жаатында талкууланат, бул жерде үнөмдүү жана мобилдүүлүгү менен мүнөздөлөт, бул учурларда механикалык кол сокку механизмдерин колдонуу максатка ылайыктуу болуп саналат. Чакан жана көчмө болгондуктан, бул механизмдер ар кандай шарттарда жана ар кандай объектилерде колдонулушу мүмкүн.

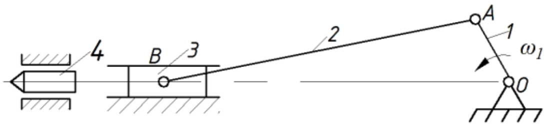
Иш принциби, конструкциялык аткарылышы, иштеткичи, колдонуу жааты ж.б. боюнча сокку механизмдер ар түрдүү. Алардын арасында туруктуу (1-сүрөт) жана өзгөрүлмө түзүмдүү механикалык сокку механизмдери бар (2-сүрөт). Акыркылары ар кандай жолдор менен (кинематикалык, динамикалык, геометриялык ж.б.) иштөө процессинде бир цикл үчүн түзүм туруктуудан өзгөрмөгө жана кайра артка өзгөрөт, б. а. кыймылдуулук даражасы өзгөрөт.

Туруктуу түзүмдүү механизмдерде, сокку энергиясын объектке өткөрүп берүүдө тогоолордун ортосунда ийкемсиз байланыштар болгондуктан,

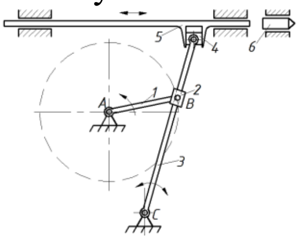
реактивдүү күч аткаруучуга жана кийинки тогоолорго берилет, бул механизмдин бекемдигине, бышыктыгына жана ишенимдүүлүгүнө терс таасирин тийгизет.



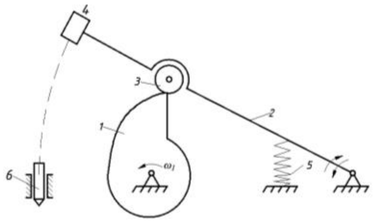
а) Ийри муунак-термелгич сокку механизм



б) Ийри муунак-түз жылма механизм



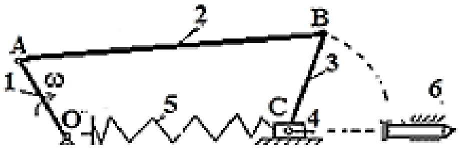
в) Кулисалык механизм



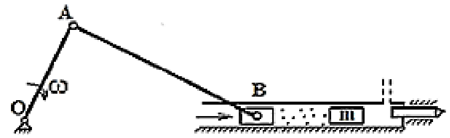
г) Урчуктуу сокку механизм

1 – сүрөт – Туруктуу түзүмдүү механизмдер

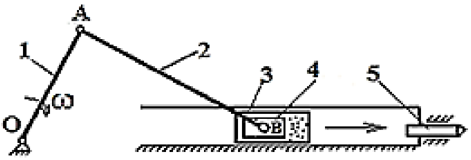
Сокку түзүмү өзгөрүлмө механизмдери (ТӨМ) энергия берилээрдин алдында серпилгичтин ийкемдүүлүгүнөн (2-а-сүрөт), кысылуучу чөйрөнүн ийкемдүүлүгүнөн (2-б, в-сүрөт) же сокку массасынын инерциялык күчтөрүнөн (2-г-сүрөт) улам кыймылдуулук даражасын экиден бирге өзгөрткөндүгү менен айырмаланат, ал эми энергия берүү учурунда тогоолордун ортосундагы катуу байланыштар үзүлөт жана таянычтарга реактивдүү күчтүн таасири минималдуу, бул мындай механизмдердин бышыктыгын жогорулатат. Жетектөөчү тогоонун андан аркы кыймылында механизм кайра баштапкы эки кыймылдуу абалына кайтарылат.



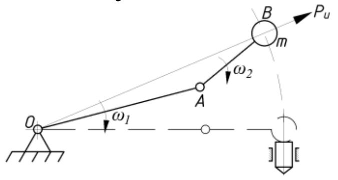
а) механикалык туташуу сокку механизм



б) күчтүк туташуу сокку механизм



в) кинематикалык туташуу сокку механизм



г) динамикалык туташуу сокку механизм

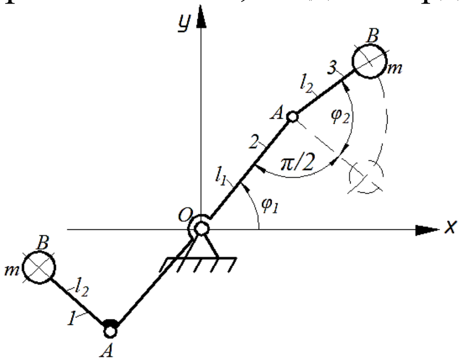
2 – сүрөт – Өзгөрүлмө түзүмдүү механизмдер

Кол сокку машиналардын кыйла айырмаланган белгилери боюнча классификациясы иштелип чыккан, ал механизмдердин түзүмү өзгөрүүсүнүн которулушу төмөнкүдөй ар кандай жолдор менен ишке ашырылаарын көрсөтөт:

механикалык (2 а-сүрөт), кинематикалык (2 в-сүрөт), күч (2 б-сүрөт) жана динамикалык туташуу (2-сүрөт).

Алардын ичинен ишенимдүүлүгү жана узак түбөлүктүүлүк жагынан динамикалык байланыштуу ТӨМ болуп саналат. Динамикалык байланыштуу сокку ТӨМ менен мындай окумуштуулар иш жүргүзгөн: Г.С. Мигренко, В. Н. Евграфов, А. А. Рыков, в. Ф. Хон, В. В. Виноградов, Г. К. Шрейбер, Г. М. Сорокин, Т. А. Полянская, М. Я. Шашин, В. В. Волынкин, В. К. Манжосов ж.б. у.с. алектенишкен.

Авторлор Г. С. Мигренко, В. Н. Евграфов, А. А. Рыков, В. Ф. Хон эки массалык механизмдин кыймылынын математикалык үлгүлөрүн түзүшкөн. Лагранждын экинчи түрдөгү теңдемесинин негизинде, күчтөрдүн иштеп жаткан ийин күчтөрүнүн суммасы нөлгө барабар деп эсептеп, каршылык көрсөтүү күчтөрүн албай албай, теңдемелерди төмөнкүдөй жазышкан:



3-сүрөт- Борборго умтулуучу түрдөгү сокку кооптондургучтун эсептөө сөлөкөтү

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_1}\right) - \frac{\partial T}{\partial \varphi_1} = 0$$
$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_2}\right) - \frac{\partial T}{\partial \varphi_2} = 0 \qquad (1)$$

мында φ_1 жана φ_2 – ийри муунактын жана тээктин жалпыланган координаттары; $\dot{\varphi}_1$ жана $\dot{\varphi}_2$– ийри муунактын жана тээктин жалпыланган ылдамдыгы; T – механизмдин кинетикалык энергиясы.

Акыры, ийри муунактын жана тээктин кыймылынын төмөнкү туюнтмалары алынды:

$$\ddot{\varphi}_1^2\left(J_p + 2J_{бB} + 2ml_1^2 + 2ml_2^2\right) + \ddot{\varphi}_2^2\left(J_{бB} + ml_2^2\right) + 2ml_1l_2\dot{\varphi}_1\sin\varphi_2 +$$
$$+2ml_1l_2\dot{\varphi}_1\cos\varphi_2 + ml_1l_2\ddot{\varphi}_2\sin\varphi_2 + ml_1l_2\dot{\varphi}_1^2\cos\varphi_2 = 0; \qquad (2)$$
$$\ddot{\varphi}_1^2\left(J_{бB} + ml_2^2\right) + \ddot{\varphi}_2^2\left(J_{бB} + ml_2^2\right) + ml_1l_2\ddot{\varphi}_1\sin\varphi_2 - ml_1l_2\dot{\varphi}_1^2\cos\varphi_2 = 0,$$

кайда l_1, l_2 – тиешелүүлүгүнө жараша, ийри муунактын жана тээктин узундугу, $\ddot{\varphi}_1$ и $\ddot{\varphi}_2$ - ийри муунактын жана тээктин бурчтук ылдамдануусу, m – сокку масса, J_p и $J_{бB}$ - O айлануу огуна карата ийри муунактын жана B соккучтун массанын борборуна карата күү ийинкүчөрү.

Манжосов (1)-чи теңдемени чечүүдө тээктинн кыймылынын математикалык мындай үлгүсүн сунуш кылган:

$$\dot{\varphi} = \pm\sqrt{2\left(\cos\varphi - \cos\varphi_0\right)}, \qquad (3)$$

кайда φ, – ийри муунака салыштырмалуу тээктин айлануу бурчу, φ_0 – тээктин баштапкы абалы.

Жогорудагы көз карандылыктар (2) жана (3) талдоолук жана эксперименталдык ыкмалар менен алынган.

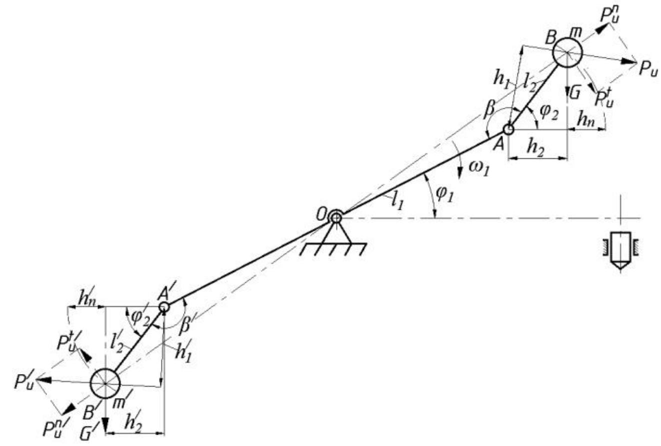
Бирок, алар сунуш кылган бул математикалык үлгүлөр чындыкка дал келбейт, анткени алар: M_{P_u} күү күчүнүн ийин күчүн, $M_{дв.}$ кыймылдаткыч ийин күчүн, M_c каршылык ийин күчүн эске алынбаган, алар өз учурунда сокку массанын кыймыл мыйзамына жана механизмдин өзүнө олуттуу таасир этет.

Экинчи бапта "сокку механизмди изилдөө ыкмалары жана усулдуулугу" динамикалык байланыштуу ТӨМдү комплекстүү изилдөө маселелери боюнча кинематикалык, кинетостатикалык, динамикалык жана эксперименталдык изилдөө ыкмаларын колдонуу маселелери каралды.

Изилдөөнүн объектиси – динамикалык байланыштуу сокку түзүмү өзгөрүлмө механизм.

Изилдөөнүн предмети ийин күчтөрдү жана тышкы күчтөрдү эске алуу менен циклдин жүрүшүндө механизмдин түзүмүнүн өзгөрүү мыйзам ченемдүүлүктөрү жана механизмдин тогоолорунун өз ара аракеттенүүсү болуп саналат.

Үчүнчү бапта "динамикалык байланыштуу сокку түзүмү өзгөрүлмө механизминин кинематикасын изилдөө" сокку механизминин кинематикасын кыймылдын үч баскычы менен мүнөздөлгөнүн карайт - бул механизмдин артка секирүү учурундагы механизмдин тогоолорунун кыймылы (соккудан кийин), тээктин ачылуу учурундагы тогоолордун кыймылы (айлануу жээк жакка сокку массасынын чыгышы) жана бир тогоо катары ийри муунак менен тээктин биргелешкен кыймылы (ийри муунактын огу менен тээктин бир сапта тизилиши). Бул учурда, биринчи эки этапта, механизм эки кыймылдуу, ал эми үчүнчү этапта бир кыймылдуу механизмге өтөт (туташуунун натыйжасында).



4 – сүрөт – Эки массалуу динамикалык байланыштуу сокку ТӨМдүн эсептик схемасы

Механизмдин сокку массаларынын кыймылынын математикалык моделин сүрөттөө үчүн эсептөө схемасы (4 – сүрөт) түзүлгөн, ал үч тогоодон турат - l_1 - AA' ийри муунактын (ротордун) узундугу, l_2 - AB тээктин узундугу жана l_2' - $A'B'$ экинчи тээктин узундугу, ал жерде A жана A' чекиттери шарнир болуп саналат. Ийри муунак $\dot{\varphi}_1$ бурчтук ылдамдыкта айланат, ийри муунактын абалы

φ_1 бурч менен аныкталат. Биринчи тээктин абалы φ_2 бурч менен аныкталат, экинчи тээктики $\varphi_2^/$ бурч (4-сүрөттү караңыз), ошонун себебинен $\dot{\varphi}_2$ жана $\dot{\varphi}_2^/$ алардын бурчтук ылдамдыгы. m жана $m^/$ тээктердин массалары B жана $B^/$ чекиттеринде, ал эми ийри муунактын массасы O чекиттеринде топтолгон.

Каралып жаткан механизмдин кыймылы Лагранжанан 2-түрдөгү теңдемесин колдонуу менен түзүлгөн:

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_1}\right)-\frac{\partial T}{\partial \varphi_1}+\frac{\partial \Pi}{\partial \varphi_1}=M_{дв.}-\sum M_c$$

$$:\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_2}\right)-\frac{\partial T}{\partial \varphi_2}+\frac{\partial \Pi}{\partial \varphi_2}=M_{P_и} \tag{4}$$

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_2^/}\right)-\frac{\partial T}{\partial \varphi_2^/}+\frac{\partial \Pi}{\partial \varphi_2^/}=M_{P_и}^/$$

кайда $\varphi_2^/$ жана $\dot{\varphi}_2^/$– экинчи тээктин жалпыланган координаты жана ылдамдыгы; Π – механизмдин потенциалдык энергиясы.

Механизмдин кыймылынын ар кандай этаптары Лагранжанын 2-түрдөгү теңдемесинин негизинде, анын кинематикалык мүнөздөмөлөрүнө таасир этүүчү бардык факторлорду эске алуу менен жалпы математикалык үлгүсү (5) алынган:

$$J_1\ddot{\varphi}_1+ml_1^2\ddot{\varphi}_1+ml_1l_2\ddot{\varphi}_2\cos(\varphi_2-\varphi_1)-ml_1l_2\dot{\varphi}_2^2\sin(\varphi_2-\varphi_1)+m^/l_1^2\ddot{\varphi}_1+$$
$$+m^/l_1l_2^/\ddot{\varphi}_2^/\cos(\varphi_2^/-\varphi_1)-m^/l_1\,l_2^/\dot{\varphi}_2^{/2}\sin(\varphi_2^/-\varphi_1)=M_{кр}\eta-\left(R_{01}r_{ц.к}k+R_{12}r_{ц.ш}k+R_{13}r_{ц.ш}^/k\right);$$

$$ml_2^2\ddot{\varphi}_2+ml_1l_2\ddot{\varphi}_1\cos(\varphi_2-\varphi_1)+ml_1l_2\dot{\varphi}_1^2\sin(\varphi_2-\varphi_1)+mgl_2\sin\varphi_2=$$
$$=\left(\dot{\varphi}_1^2+\ddot{\varphi}_1\right)\sqrt{l_1^2+l_2^2-2l_1l_2(\varphi_2-\varphi_1)}\cdot mh_1;$$

$$m^/l_2^{/2}\ddot{\varphi}_2^/+m^/l_1\,l_2^/\ddot{\varphi}_1\cos(\varphi_2^/-\varphi_1)+m^/l_1l_2^/\dot{\varphi}_1^2\sin(\varphi_2^/-\varphi_1)+m^/gl_2^/\sin\varphi_2^/=$$
$$=\left(\dot{\varphi}^{/2}_1+\ddot{\varphi}_1^/\right)\sqrt{l_1^2+l_2^{/2}-2l_1l_2^/\cos(\varphi_2^/-\varphi_1)}\cdot m^/h_1.$$

(5)

кайда $\ddot{\varphi}_2^/$ - экинчи тээктин бурчтук ылдамдануусу; J_1 – ийри муунактын айлануу огуна карата күү ийин күчү; R_{01}- O таянычындагы реактивдүү күч, $r_{ц.к}$ – ийри муунактын радиусу; k – сүрүлүү термелүү коэффициенти; R_{12} жана R_{13}- A жана $A^/$ допшолорундагы каршы күчтөр; $r_{ц.ш}$ жана $r_{ц.ш}^/$– тээктин муунактарынын радиустары; h_1 жана $h_1^/$– A жана $A^/$ допшолоруна карата $\overline{P_и}$ жана $\overline{P_и^/}$ күү күчтөрүнүн ийинкүчтөрү.

Барабардыкты (5) аналитикалык чечүү мүмкүн эмес деп табылган, анткени бул көз карандыда, анын чечимин татаалданткан бир нече белгисиз өзгөрмөлөр бар. Аналитикалык чечимде нөлгө теңелип кабыл алынган божомолдор

(кыймылдаткыч ийинкүчү, каршылык ийинкүчү жана инерция күү күчүтөрүнүн ийинкүчтөрү) кайрадан эркин термелүүнүн теңдемесине алып келет. Эгерде бул ийин күчтөрдү кайсы бир сандык мааниге теңесек, анда бул да сокку массалардын кыймылын толук сүрөттөбөйт, анткени механизмге таасир эткен бардык күчтөр жана ийин күчтөр бири-бирине көз каранды жана механизмдин ар бир абалында өзгөрөт.

Сокку механизмдерди изилдөөдө, баштапкы шарт үчүн, эреже катары иш жүзүнүн натыйжаларына негизделген, соккучтун артка секирүү абалы жана ылдамдыгы колдонулат. Биздин учурда, артка секирүүнүн чоңдугун так айтуу кыйын, анткени тээк менен массанын (соккучтун) ийри муунакка допшо менен кошулушу, тээк сокку күчүнүн ийинкүчү күү күчүнүн таасири боюнча кээ бир бурчка ооп кетиши мүмкүн, ал өз кезегинде көптөгөн факторлорго көз каранды: кагылышуунун ылдамдыгы жана убактысы, кагылышуучу заттардын массасы жана түзүлүшү, кыймылга каршылык көрсөтүү күчү.

Толкун өткөргүчтөн сокку массасынын артка секирүү жараяны жана анын бир мерчимдеги сокку абалына чыгышын изилдөө эки жол менен каралды: сокку ийинкүчтөрдүн жана күү күчтөрүнүн ийинкүчтөрүн, жана ылдамдыкты калыбына келтирүү коэффициентин эске алуу менен.

Биринчи ыкмада, сокку күчүнүн ийинкүчүнүн катышуусу менен кагылышуу жана андан кийинки учурдагы ийри муунак жана тээктин кыймылдарынын тендемелеринин тутумдары түзүлгөн жана убакыт боюнча интеграцияланып ийри муунак менен тээктин кагылышуу учурундагы бурчтук ылдамдыгы жана айлануу бурчтары алынган:

$$\left\{\begin{aligned} \frac{d\varphi_1}{dt} &= \frac{M_{дв.} - P_{уд}(l_1 + l_2) - R_{01}\cdot r_{ц}\cdot k}{I_1} t \\ \frac{d\varphi_2}{dt} &= \frac{-P_{уд} l_2 + R_{12}\cdot r_{ц.ш}\cdot k + mgh_2}{I_2} t \end{aligned}\right| \quad 0 \le t \le t_{соуд.} \tag{6}$$

$$\left\{\begin{aligned} \varphi_1 &= \frac{M_{дв.} - P_{уд}(l_1 + l_2) - R_{01}\cdot r_{ц}\cdot k}{I_1} t^2 \\ \varphi_2 &= \frac{-P_{уд} l_2 + R_{12}\cdot r_{ц.ш}\cdot k + mgh_2}{I_2} t^2 \end{aligned}\right| \quad 0 \le t \le t_{соуд.} \tag{7}$$

жана соккудан кийин:

$$\left\{\begin{aligned} \frac{d\varphi_1}{dt} &= \frac{M_{дв.} \pm m\omega_2^2 l_2 h_{ш.о} - R_{01}\cdot r_{ц}\cdot k}{I_1} \\ \frac{d\varphi_2}{dt} &= \frac{m(\omega_1 \pm \omega_2)^2 rh_{ш.о} \pm mgh_2 - R_{12}\cdot r_{ц.ш}\cdot k}{I_2} \end{aligned}\right| \quad t_{соуд.} \le t \le t_{\max}. \tag{8}$$

$$\begin{cases} \varphi_1 = \dfrac{M_{дв.} \pm m\omega_2^2 l_2 h_{ш.о} - R_{01} \cdot r_ц \cdot k}{I_1} t^2 \\ \varphi_2 = \dfrac{m(\omega_1 \pm \omega_2)^2 rh_{ш.о} \pm mgh_2 - R_{12} \cdot r_{ц.ш} \cdot k}{I_2} t^2 \end{cases} \Bigg| t_{соуд.} \le t \le t_{\max.} \tag{9}$$

где $l_1^{/}$ - OA ийри муунактын узундугу (4 - сүрөт).

Кагылышуу убагында сокку массасынын ылдамдыгын экинчи ыкма менен эсептөөдө, күчтөрүнүн ийинкүчү аркылуу эмес, ылдамдыкты калыбына келтирүү коэффициенти эске алынып эсептөөлөр төмөнкүдөй болот:

сокку учурунда

$$V_{от.} = -V \cdot k_в \tag{10}$$

кайда $k_в$ – ылдамдыкты калыбына келтирүү коэффициенти, иштетилип жаткан объекттин касиетине көз каранды чоңдук.

Тээктин кагылышуу учурундагы ылдамдыгы мындай аныкталат:

$$\omega_2 = \frac{V_{от.}}{l_2} \tag{11}$$

Ал эми тээктин айлануу бурчу мындай аныкталат:

$$\varphi_2 = \omega_2 \cdot t_{соуд.} \tag{12}$$

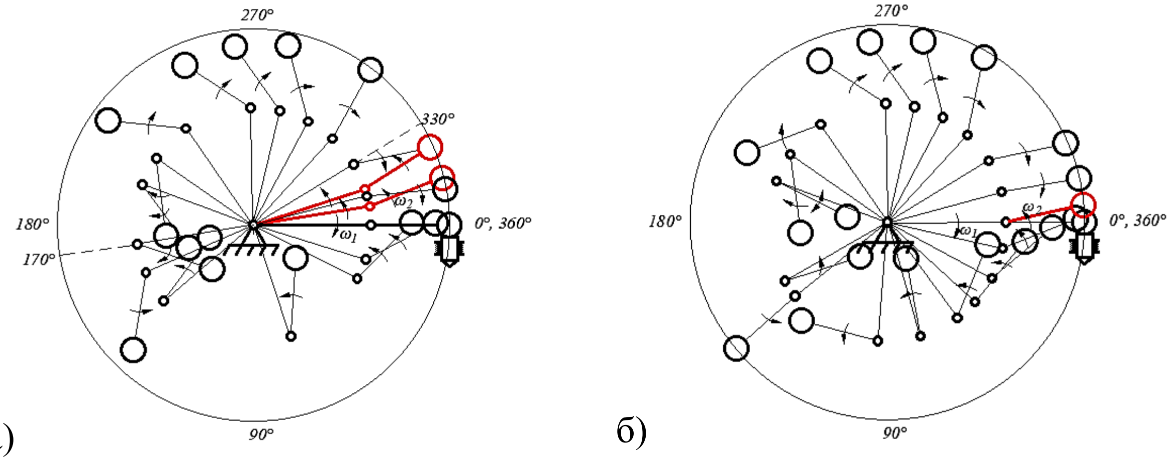
Сокку массанын артка секирүүдөн кийинки кыймылы биринчи ыкмадай эле (8) жана (9) көз карандылыктар боюнча аныкталат.

Өзгөчө учурда, ийри муунактын массасы айлануу огунда топтолгон диск : $I_1 = \frac{ml_1^{/2}}{2}$ жана тээктердин массалары бош учтарына топтолгон өзөктөр: $I_2 = \frac{ml_2^2}{3}$ катары кабыл алынып, ийри муунак менен тээктин кагылышуу жана андан кийинки учурлардагы кыймылын аныктайбыз (5 а жана б сүрөттөрү).

Теңдемелерди чечүүнүн натыйжасы, кагылышуу учурунда (5 – сүрөт) ийри муунак токтоп, ийри муунактын кыймылына каршы багытталган сокку күчүнүн ийинкүчүнүн таасиринен улам айлануу багытын тескери жака белгилүү градуска чейин өзгөргөрткөнүн көрсөткөн. Андан кийин, качан $P_{уд}$ сокку күчүнүн таасири өчкөндө, ийри муунак кайрадан кыймылдаткычтын ийинкүчүнүн эсебинен саат жебеси боюнча кайра айлана баштайт. Тээк болсо сокку массасы менен артка секирүүдөн кийин саат жебесине каршы бурулууну улантат жана ийри муунак толук бурулбаганда, тээк A допшонун огунун айланасында болжол менен бир айланууну жасоого үлгүрөт.

Андан кийин, күү күчүнүн таасири астында тээк айлануу багытын "саат жебеси боюнча" өзгөртөт жана сокку масса айлануу жээк жагына умтулат. Ийри муунак толук бурулушка жеткенде (чекиттүү сызык менен көрсөтүлгөн) тээктин бурулуусу ийри муунактын огунан алдыга озуп чыгат.

Ийри муунак андан ары айланганда, тээк бул озуп чыгууну жогорулатат же артта калат жана бул абалда курал менен кагылышканга чейин жылат.



5 – сүрөт – Соккучтун аспап менен кагылуудан кийинки бир мерчемдеги абалынын сүрөтү

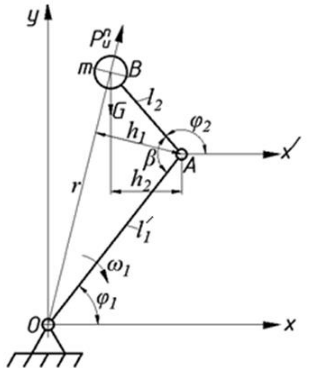
а) сокку күчүнүн ийинкүчүн жана күү күчүнүн ийинкүчүн эске алуу менен,

б) ылдамдыкты калыбына келтирүү коэффициентин эске алуу менен

5 - б) сүрөттөн көрүнүп тургандай шатундун жүрүм-туруму жогоруда талкууланган учурга окшош. Айырмасы, бул жерде кагылышуудан кийин ийри муунак айлануу багытын өзгөртпөйт, анткени бул учурда эсептөөлөргө *O* таянычына жана *A* допшосуна карата сокку күчүтөрүнүн ийинкүчтөрү катышпайт.

Ийри муунатын огуна карата тээктин абалында белгисиздик бар, бул энергияны берүүнүн ишенимдүүлүгүн камсыз кылбайт.

Ошондуктан, бул кемчиликтерди жоюу үчүн, артка секиргенден кийин, ийри муунактын огуна карата тээктин айлануу бурчун чектөө жана тээк айлануу жээк жакка чыкканда бурулуусун ийри муунактын бурулушуна карата бекитүү керек. Буга конструкцияга тээктин айлануусун чектегичтерди киргизүү аркылуу жетишүүгө болот.



6 – сүрөт – Бир массалуу сокку механизмдин эсептөө схемасы

Сокку массасынын жээк жакка чыгышын (сокку абалына) кароо үчүн сокку механизминин экинчи жарымы (экинчи сокку массасы) биринчи жарым сыяктуу эле кыймылдайт деп болжолдоп, ошондой эле төмөндө келтирилген божомолдорду эске алуу менен биринчи сокку массанын кыймылынын математикалык үлгүсү түзүлгөн (6-сүрөт):

1) $\omega_1 = const$, б.а. ийри муунак тегиз айланат;

2) P^i_u күү күчү, келип чыгышы боюнча ω_1 жана баштапкы координатка салыштырмалуу массанын ылдамдануусунун нормалдуу түзүүчүсүнөн көз каранды;

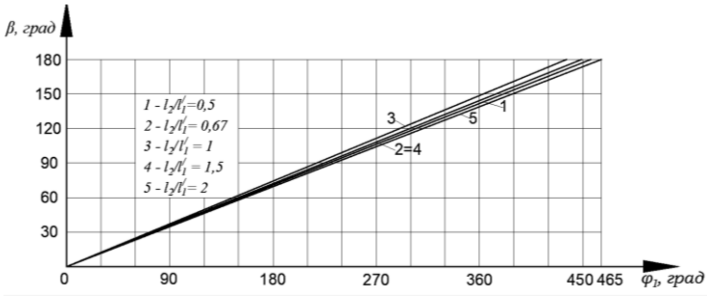
3) тээктин оордук борбору *B* чекитте топтолгон;
4) мерчемдин башталышындагы соккунун кыймылы белгилүү бир туруктуу абалдан башталат.

$d\beta/dt$ салыштырмалуу бурчтук ылдамдык жана ийри муунак менен тээктин ортосундагы β бурч мындай аныкталат:

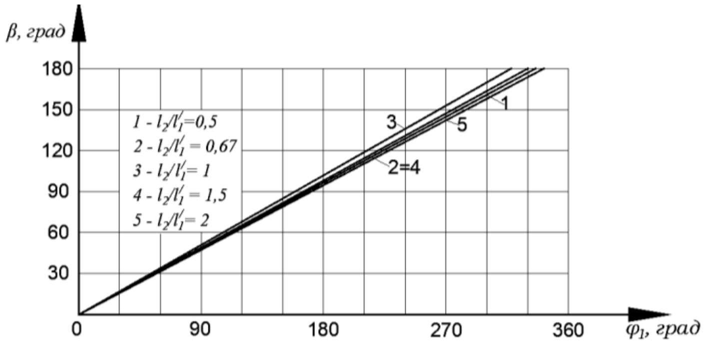
$$\frac{d\beta}{dt} = \omega_0 + \frac{3\left(\left(\omega_1 + \omega_2\right)^2 rh_1 - gh_2\right)}{l_1^{/2} + l_2^2 - 2l_1^{/}l_2 \cos\beta}\left(t_i - t_{i-1}\right) \tag{13}$$

$$\beta = \beta_{i-1} + \frac{3\left(\left(\omega_1 + \omega_2\right)^2 rh_1 - gh_2\right)\left(t_i - t_{i-1}\right)^2}{l_1^{/2} + l_2^2 - 2l_1^{/}l_2 \cos\beta} \tag{14}$$

кайда β_{i-1}– ийри муунак менен тээктин ортосундагы мурунку абалдын бурчу; ω_0 – тээктин баштапкы ылдамдыгы.



7 – сүрөт – n_1 =700 айл./мүн. үчүн тээктин айлануу бурчунун ачылышынын ийри муунактын бурулуу бурчунан көз карандылык диаграммасы



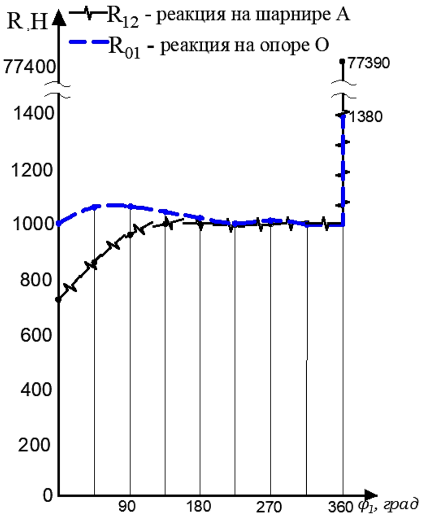
8 – сүрөт – n_1 = 1000 айл./мүн. үчүн тээктин айлануу бурчунун ачылышынын ийри муунактын бурулуу бурчунан көз карандылык диаграммасы

Сокку массасынын бурчтук ылдамдыгы (13) жана ийри муунак менен тээктин ортосундагы бурч (14) ийри муунактын бурчтук ылдамдыгынан, ийри муунак менен тээктин узундугунан, күү күчү жана тартылуу күчүнүн ийиндеринен көз каранды, бирок сокку массасынан көз каранды эмес.

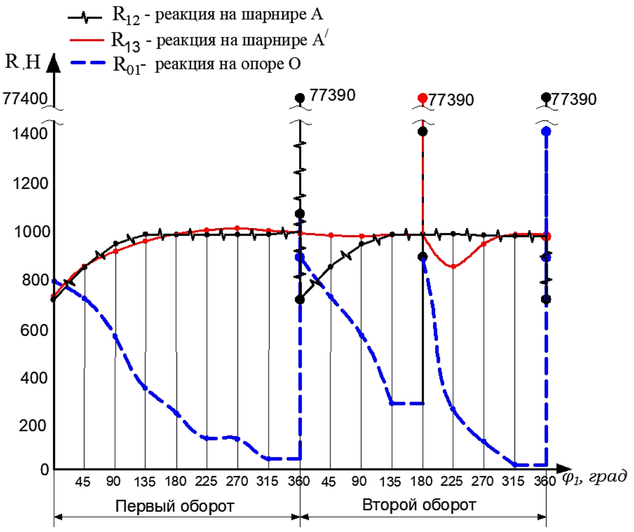
Сокку механизминин кинематикасын талдоодо, сокку массасынын соккуга чейинки абалга чыгышы, бардык тогоолордун узундуктарынын катышы үчүн ($\beta=180^0$) n_1=750-1000 айл./мин интервалында болоору аныкталды (7, 8-сүрөттөр). Динамикалык байланыштуу түзүмү өзгөрүлмө сокку механизимин андан ары изилдөө жана долбоорлоо үчүн, сокку машиналардын максималдуу жол берилген сокку ылдамдыгы 8 м/с жана кол сокку машиналарга алардын салмагына жана

өлчөмдөрүнө карата талаптардан ашпоого тийиш экенин эске алып, сокку механизмдин тогоолорунун узундуктарынын катышын $l_2/l_1^{/}$ = 0,67 кабыл алабыз.

Төртүнчү бапта механизмдин тогоолоруно аракет эткен күчтөрдү аныктоо үчүн, сокку механизге кинетостатикалык жана динамикалык изилдөөлөр жүргүзүлдү. Механизмдин допшолору жана таянычындагы реактивдүү күчтөр жана сокку учурунда пайда болгон реактивдүү күч 77 *кН*
(*А* = 50 Дж) жана 100 *кН* го(*А* = 100 Дж) чейин жогорулай тургандыгы аныкталган, бирок сокку механизминин конструкциялык өзгөчөлүгүнөн улам, бул күчтөн түзүлгөн ийинкүч сокку механизминин таянычына (жетектөөчү вал) дээрлик таасир этпеши аныкталган.



а)



б)

9 – сүрөт – *А* = 50 Дж учурдагы, R_{01}, R_{12}, R_{13} реактивдүү күчтөрүнүн ийри муунактын φ_1 айлануу бурчунан көз каранды графиги
а – бир массалык механизм; б – эки массалык механизм

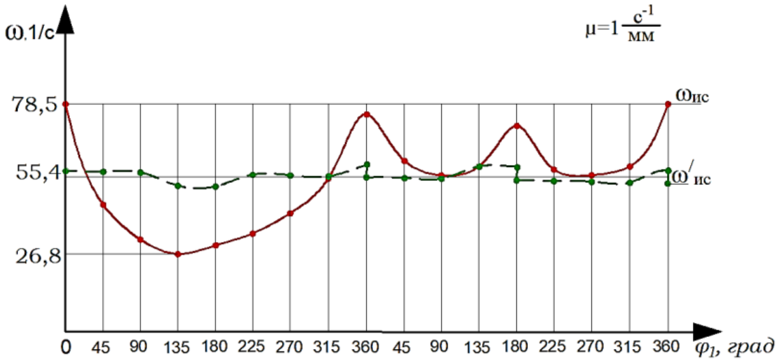
Качан механизм бир сокку массага ээ болгондо (9 – а сүрөт) *О* таянычындагы реактивдүү күч дээрлик өзгөрбөйт, ал эми механизм теңтараптуу жайгаштырылган сокку массасына ээ болгондо (9 - сүрөт) *О* таянычындагы реактивдүү күч минимумга умтулат жана кагылышуу учурда гана олуттуу чоңдуктарга көтөрүлөт.

Диаграмманын ийри сызыктуу участогу биринчи сокку масса ачуу фазасында тургандыгы менен, ал эми экинчи сокку масса сокку алдындагы абалды ээлегендиги (перифериягa чыккан) менен түшүндүрүлөт. 135^0 – 180^0 жана 315^0 - 360^0 участокторунда диаграмманын түз сызыгы эки сокку масса тең перифериягa чыкканын билдирет.

Механизмге таасир эткен бардык күчтөрдү эске алуу менен 10-графада келтирилген жетектөөчү тогоонун бурчтук ылдамдыгынын чыныгы маанисинин ийри муунактын айлануу бурчуна карата өзгөрүшү аныкталды.

Бул жерде кривошиптин эки айлануу мерчими байкалат: биринчи мерчим - өткөөл жараян, экинчи мерчим – туруктуу шарттам. Өткөөл жараянда, биринчи

сокку масса толкун өткөргүч менен кагылышкандан кийин, ийри муунактын бурчтук ылдамдыгы белгилүү бир минималдуу мааниге чейин төмөндөйт. Муну биринчи сокку масса артка секиргенде, тээктин ийри муунактын айлануусунун тескери жагына айланат деп түшүндүрсө болот (5- а сүрөттү караңыз). Ал эми туруктуу шарттамда окшош үлгү кайталанат, ошол эле учурда экинчи сокку масса ишке киришет. Жетектөөчү тогоонун теңөлчөмсүздүү айлануусу байкалат.



$\omega_{ис}$ – $m_м = 2{,}28$кг учурда,
$\omega'_{ис} - m_м = 9{,}36$ *кг* учурда
10 – сүрөт – $A = 50$ *Дж* учурдагы ω_1дин φ_1ден көз каранды графиги

Ошондой эле, күүлөнткүчтүн массасы 3 кгдан ашпаганда, ийри муунактын бурчтук ылдамдыгы чоң интервалдагы маанилерде өзгөрүлүп тураары аныкталды (10 – сүрөт). Күүлөнткүчтүн массасы көбөйгөн сайын, кривошиптин бурчтук ылдамдыгынын өзгөрүүсүнүн термелүүсү азаят жана бурчтук ылдамдык диаграммалары жылмакай көрүнөт. Бирок, күүлөнткүчтүн массасынын көбөйүшү сокку механизминин жалпы массасынын оор болушуна алып келет. Ошондуктан, тандоо күүлөнткүчтүн ылдамдыгынын термелүүсүнүн амплитудасынын негизинде жүзөөгө ашырылат.

Бешинчи бапта иштелип чыккан конструкция (11-сүрөт) жана эксперименттик изилдөөнүн методикасы жана динамикалык байланыштуу сокку ТӨМдүн экспериментинин натыйжалары келтирилген.

11 – сүрөт – Сокку механизми

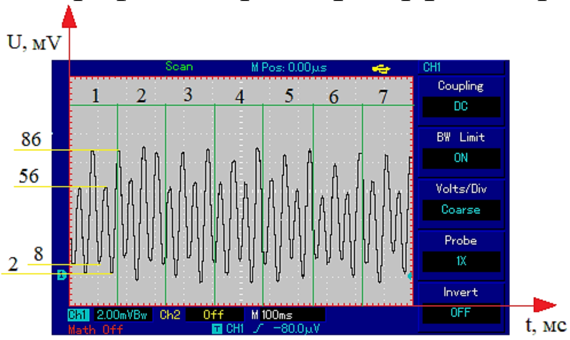
Динамикалык байланыштуу ТӨМдүн эксперименталдык изилдөөнүн негизги максаты машинанын иштешин текшерүү, анын динамикалык мүнөздөмөлөрүн аныктоо жана ротордун бир айлануусунда соккуга каршы соккучтун чыгышын орнотуу болуп саналат.

Эксперименталдык изилдөө үчүн эксперименталдык сынама иштелип чыккан. Динамикалык байланыштуу түзүмү өзгөрүлмө сокку механизминин үлгүсүнө эксперименталдык изилдөөлөр жүргүзүлүп, натыйжалары 1-таблицада чагылдырылган.

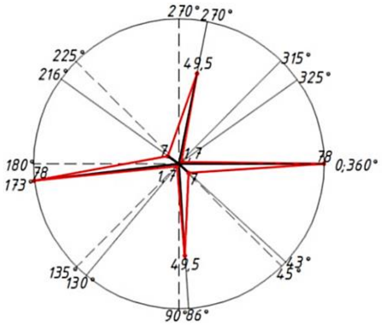
1 – таблица – гидромотордун басым линиясындагы ар кандай басымдардагы эксперименталдык өлчөөлөрдүн натыйжалары

Өзгөрмө чоңдуктардын аталышы							***Чыгуу параметрлери***		
Орточо май басымы, МПа	Май басымынын өзгөрүшү, МПа	Мунай керектө, л/мин	Майдын температурасы, t^0	Айлануу саны, об/мин	Бурчтук ылдамдыктын өзгөрүшү ω^{max}_1, 1/с	Кагылышуунун ылдамдыгы, м/с	Сокку энергиясы Дж	Сокку жыштыгы, Гц	Машин. Жүрүшүнүн теңөлчөмсүздүк коэфф., δ
3	2,7-3	8,5-11	51	260	40,12	4,012	13,52	8,66	1,202
4	4-4,16	7,9-12,2	32	330	56,14	5,614	24,67	11	1,41
5	5-5,3	6-8,1	35	360	77,97	7,797	49,24	12	1,83
6	6-6,2	9	35	370	80	8,0	54,84	12,33	1,84
7	6,9-7,1	7,1-8,1	40	380	81,84	8,184	56,46	12,66	2
8	8-8,2	6,5-11	30	390	87,55	8,755	65,31	13	2
9	8,96-9	7,3-9,8	23	420	92,31	9,231	69,02	14	1,72
10	9,05-10,1	7,9-10,2	55	450	98,97	9,897	79	15	1,74

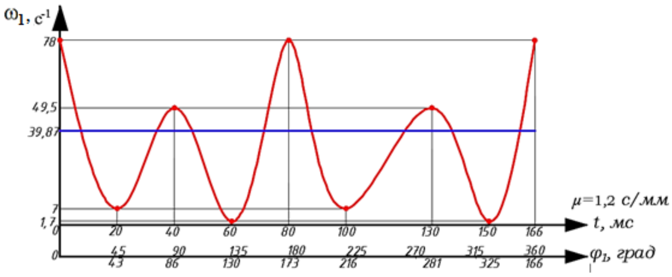
Алынган өлчөм мүнөздөгүчтөрдү талдоо гидравликалык кыймылдаткычтын жумушчу суюктугунун басымынын 3-10 МПа диапазонун бардык маанилери үчүн жүргүзүлгөн. Бул жерде мисал катары көрсөтмө берүү үчүн 12-сүрөттө гидромотордун басым магистралындагы жумушчу басымда убакытка жараша электр тогунун чыңалуусунун чоңдугунун өзгөрүшүн белгилөөчү осциллографтын көрсөткүчтөрү келтирилген $P = 5$ МПа.



12 – сүрөт – $U(t)$ график көз карандылыгы



13 – сүрөт – $\omega_1(\varphi_1)$годографы



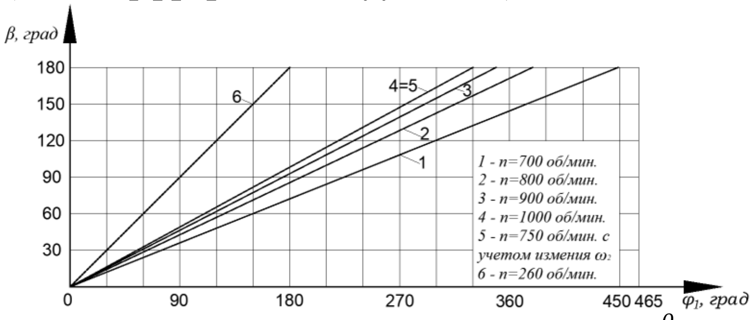
14 – сүрөт – $P = 5$ МПа учурдагы ω_1дин φ_1ден көз каранды графиги

Чыңалуунун чоңдугунун убакытка карата өзгөрүшү ийри муунактын бурчтук ылдамдыгынын өзгөрүшүнө туура келет. Тарировкалык графиктин жардамы менен токтун чыңалууларынын өзгөрүүсү ийри муунактын бурчтук ылдамдыгына которулуп, анын негизинде годограф (14-сүрөт) жана бурчтук ылдамдыктын ийри муунактын айлануу бурчунан көз карандылыгынын диаграммасы (14-сүрөт) жалпысынан механизм үчүн тургузулган.

Мурунку учурдагыдай эле, годографтан (13-сүрөт) жана диаграммадан (14-сүрөт) бурчтук ылдамдыктын өзгөрүү мүнөзү ачык көрүнүп турат, мында биринчи сокку масса кагылышкандан кийин ийри муунактын бурчтук ылдамдыгы минималдуу мааниге чейин төмөндөйт, андан кийин жетектөөчү ок толгоочтун ийинкүчү менен кайра көбөйөт. Кээ бир максималдуу мааниге кайра жеткенде (артка секиргенден кийин таяныч менен сокку массанын кагылшуу учуру), ийри муунактын токтотусуунун эсебинен ылдамдык кайра кээ бир минималдуу мааниге чейин төмөндөйт. Андан кийин, ийри муунактын ылдамдыгы кайрадан максималдуу мааниге чейин жогорулайт жана $\varphi_1 = 173^o$ учурда сокку масса кагылышканга чейинки позицияны ээлейт. Андан кийин, процесс кайталанат, анткени экинчи сокку масса ишке кирет.

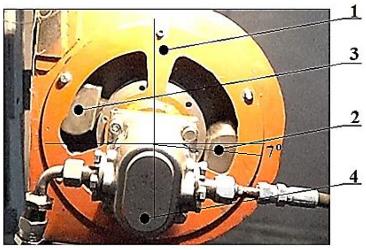
Сокку механизминин математикалык моделин түзүүдө кабыл алынган жоромолдордун жана божомолдордун тууралыгын баалоо максатында теориялык жана эксперименталдык изилдөөлөрдү салыштыруу болуп саналат.

15-сүрөттө эсептөө жолу менен табылган ийри муунактын айлануу бурчунан тээктин ачылуу бурчунун көз карандылык диаграммалары келтирилген. Бул диаграмманы талдоодон көрүнүп тургандай, кривошиптин бир айлануусунда шатундун толук ачылышы ийри муунактын $n_1 \geq 750$ айл./мин айлануусунда болот (ω_2 өзгөрүүсүн эске алуу менен).



15 – сүрөт – ар кандай n_1 жана $\varphi_2=3^0$ учурдагы βнын φ_1ден көз каранды диаграммасы

Бирок эксперименталдык натыйжалар (15 - сүрөт, 6-сап) ийри муунактын бир айлануусунда тээктин толук ачылышы 260 айл./мүн. же андан көп ылдамдыкта болорун көрсөтүп турат. Бул жагдайды эксперименттерди жүргүзүүдө, сокку массанын толкун өткөргүч менен кагылышуусунан кийин, анын ок толгооч менен кагылышуусунун натыйжасында экинчи артка секирүү болгондугу менен түшүндүрсө болот.



1 – тулку;
2 – 1-чи сокку;
3 – 2-чи сокку;
4 - гидромотор

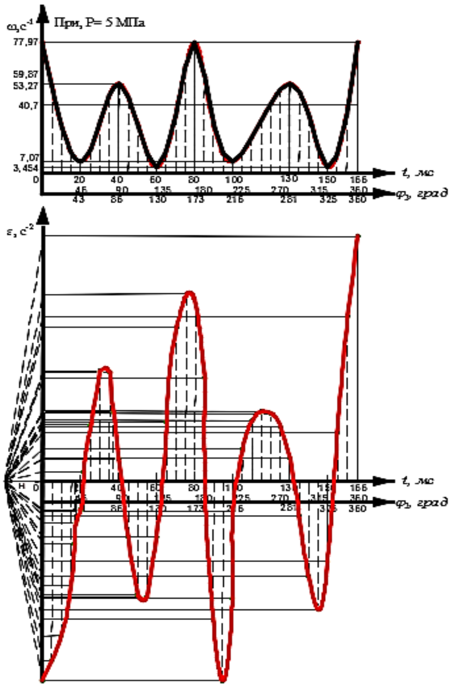
16 – сүрөт – Соккучтун сокку позиясына чыгуу сүрөтү

Жогорку ылдамдыктагы видеография менен сокку механизминин иштешинин сүрөтү алынган (16-сүрөт), мында $\varphi_1 = 173^o$ экинчи сокку масса ишке киришет (кагылышуу болот). Бул баштапкы божомолду тастыктайт.

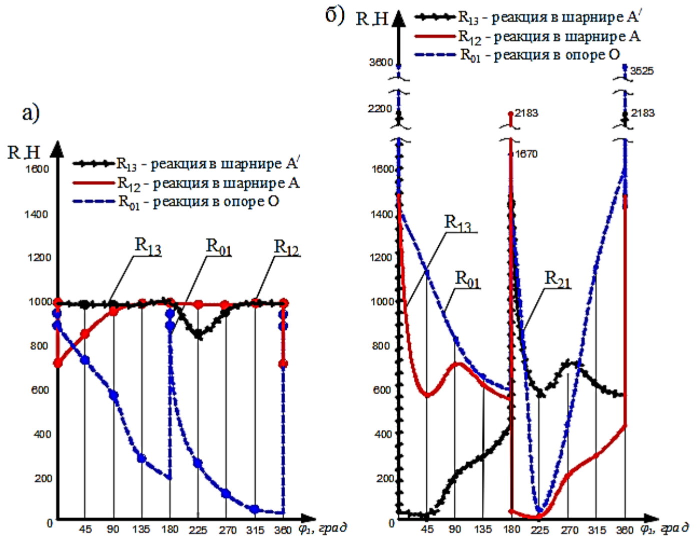
Кашылышуу учурунда ийри муунактын бурчтук ылдамдыгынын маанилеринин чоң аралыкта өзгөрүшү, б.а.,

$\omega_1 \neq const.$ эксперименттен аныкталган, механизмдин кыймылынын теңөлчөмсүздүгү таасир эткен күчтөрдүн өзгөрүшүнө алып келет.

Ошондуктан, механизмдин жетектөөчү тогоосунун бурчтук ылдамдануусу ийри муунактын бурчтук ылдамдыгынын өзгөрүүсүнүн айлануу бурчунан көз каранды графигин графикалык дифференциалдоонун негизинде аныкталды (17-сүрөт), ошондой эле ийри муунактын сызыктуу ылдамдануусунун тангенциалдык түзүүчүсүнүн чоңдугун аныктаганга жана күү күчүнүн чыныгы чоңдугун жана багытын аныктоого, ал өз кезегинде такталган кинетостатикалык эсептөөнү жүргүзүүгө мүмкүндүк берди.



17 – сүрөт – ω_1 менен ε_1дин φ_1ге карата өзгөрүү диаграммасы



а – $\omega_1 = const.$ учурунда

б – $\omega_1 \neq const.$ учурунда

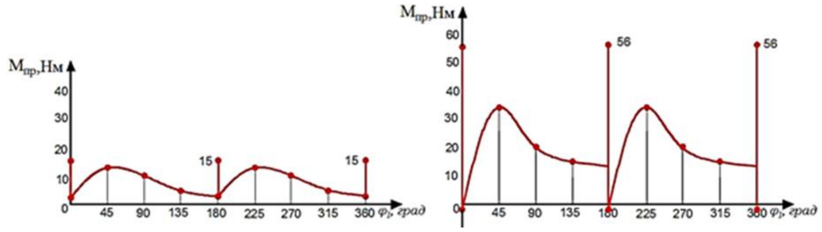
18 – сүрөт – R_{01}, $R_{21,}$ R_{31} дин $\boldsymbol{\varphi}_1$ден көз каранды графиги

A и *A*′ допшолорундагы $R_{12,}$ R_{13} реактивдүү күчтөр дээрлик өзгөрүлбөй, ал эми *O* таянычтагы R_{01} реактивдүү күчү кийинки соккуга чейин минималдуу мааниге чейин төмөндөйгөнү графиктен (18 а-сүрөт) көрүнүп турат. Муну кагылышуу учурунда реактивдүү күч кескин жогорулап, бирок механизмдин конструкциясынын өзгөчөлүгүнөн улам дароо төмөндөйт деп түшүндүрсө болот.

Графикти талдоо (18 а-сүрөт), ийри муунактын бир айлануусунда *A* жана *A*′ допшолорундагы реактивдүү күчтөр кайталанат деп айтууга мүмкүндүк берет, муну теңсалмактуу жайгашкан сокку массалары сокку механизминин кыймылын тең салмактайт деп түшүндүрүүгө болот. Белгилей кетүүчү нерсе, кагылышуу учурда реактивдүү күчтөр бир аз көбөйөт, бирок бул реактивдүү күчтөр таянычка өтүүгө үлгүрбөйт, анткени толкун өткөргүч менен соккунун кагылышуу убакыты болгону 256 мкс, б.а. $256 \cdot 10^{-3}$*с*.

Жетектөөчү тогоонун бурчтук ылдамдыгынын теңсалмаксыздыгын эске алуу менен аныкталган реактивдүү күчтөр (18-сүрөт), $\omega_1 = const.$ деп божомолдонуп алгачкы алынган натыйжалардан (18-Сүрөт) кыйла айырмаланат.

Муну жетелөөчү тогоонун бурчтук ылдамдыгынын термелүүсү күү күчүнүн өзгөрүүсүнүн чоңдугуна жана мүнөзүнө олуттуу таасир эткендиги менен түшүндүрсө болот, ал эми күү күчтөрү өз кезегинде механизмдин кинематикалык жуптарындагы реактивдүү күчтөргө таасир этет.



а) – $\omega_1 = const.$ учунда; б) – $\omega_1 \neq const.$учурунда

19 – сүрөт – $M_{пр}$тин φ_1ден көз каранды графиги

Келтирилген ийинкүчтүн диаграммасы (19-сүрөт) алгачкы алынган $M_{пр}$ натыйжалары (19-а сүрөт) такталган эсептөөдө алынган $M_{пр}$ (19-б сүрөт) караганда алда канча аз экенин ачык көрсөтүп турат. Муну биринчи учурда механизмдин теңөлчөмсүздүгүн жана кинематикалык жуптардын сүрүлүү ийинкүчүн эске алынганы менен түшүндүрсө болот. Ал эми такталган эсептөөдө жетектөөчү тогоонун бурчтук ылдамдыгынын өзгөрүшү жана механизмдин кинематикалык жуптарындагы сүрүлүү ийинкүчү эске алынган.

Толгоочу ийинкүчүнүн эксперименттен алынган диаграммасынан (19 б-сүрөт), сокку ТӨМ иштеп жатканда келтирилген толгоочу ийинкүчүнүн чоңдугу олуттуу интервалда термелет деп жыйынтык чыгарууга болот, бул теориялык эсептөөлөргө шайкеш келет. Демек, динамикалык байланыштуу сокку ТӨМдү долбоорлоодо сокку массаларынын күү күчтөрүнүн тангенциалдык түзүүчүсүн эске алуу керек.

НЕГИЗГИ ЖЫЙЫНТЫКТАР ЖАНА ПРАКТИКАЛЫК СУНУШТАР

Диссертациялык иште динамикалык байланыштуу түзүмү өзгөрүлмө сокку механизминин динамикасын изилдөө жана сокку механизмин иштеп чыгуу боюнча сарамжалдуу параметрлерин тандоо үчүн анын негизги моделдерин ачып берген актуалдуу маселе чечилди.

1. Табигый таштарды жана башка катуу материалдарды талкалоо жана иштетүү үчүн кол сокку механизмдердин схемаларын серептөө жана салыштырмалуу талдоо жүргүзүлдү.
2. Кол сокку машиналарындын классификациясы иштелип чыкты.
3. Динамикалык байланыштуу түзүмү өзгөрүлмө сокку механизминин динамикасын, кинематикасын жана кинетостатикасын изилдөө ыкмалары аныкталды.

4. Узак түбөлүктүү жана ишенимдүү кол сокку механизмин түзүү үчүн, динамикалык байланыштуу түзүмү өзгөрүлмө сокку механизминин конструкциялык сөлөкөтү иштелип чыкты жана негизделди.
5. Кол сокку механизмдердин кинематикасын изилдөөнүн аналитикалык усулдарын серептөө жана талдоо жүргүзүлдү;
6. Механизмдин сокку массасынын кыймылынын математикалык моделдери түзүлгөн.
7. Сокку механизминин геометриялык параметрлерин эсептөө методикасы жана алгоритми иштелип чыкты.
8. Динамикалык байланыштуу түзүмү өзгөрүлмө сокку механизминин кинематикасы, кинетостатикасы изилденди жана динамикалык мүнөздөмөлөрү аныкталды.
9. Динамикалык байланыштуу түзүмү өзгөрүлмө сокку механизминин конструкциясы иштелип чыкты.
10. Динамикалык байланыштуу сокку ТӨМдүн эксперименталдык изилдөөлөрүн жүргүзүү методикасы иштелип чыкты.
11. Эксперименталдык изилдөөлөрдүн жыйынтыктары талданды жана теориялык маалыматтар менен салыштырылды.
12. Конструкцияны жакшыртуу боюнча сунуштар иштелип чыкты.

ЖАРЫЯЛАНГАН ЭМГЕКТЕРДИН ТИЗМЕСИ

1. Кынатбекова Н. Н. Түзүмү өзгөрүлмө механикалык сокку механизмдер [Текст] / Ж. Усубалиев, К.Т .Эликбаев, Н. Н. Кынатбекова // Машинатаануу. – 2015. – № 2. – Б.3-11.
2. Кынатбекова Н. Н. Механикалык сокку механизмдердин сыныптоосу [Текст] / Усубалиев Ж., Эликбаев К.Т., Канатбекова Н. Н. / / Машинатаануу. – 2016. – № 1 (3). - Б.10 -17.
3. Кынатбекова Н. Н. Динамикалык байланыштуу түзүмү өзгөрүлмө сокку механизми [Текст]: / Ж. Усубалиев, К.Т. Эликбаев, Н. Н. Кынатбекова // Машинатаануу. – 2016. – №2 (4). - 3-16-бб.
4. Кынатбекова Н. Н. Динамикадык байланыштуу түзүмү өзгөрүлмө сокку механизмин изилдөөнүн графоаналитикалык ыкмасы [Текст] / Ж. Усубалиев, К.Т .Эликбаев, Н. Н. Канатбекова // УИА КР жарчысы. Жаш окумуштуулардын "Азыркы илимдин актуалдуу проблемалары" аттуу эл аралык илимий-практикалык конференциясы. № 4. 2017. – Б.10-16.
5. Кынатбекова Н. Н. Динамикадык байланыштуу түзүмү өзгөрүлмө сокку механизминин динамикасы [Текст] / Ж. Усубалиев, К.Т .Эликбаев, Н. Н. Канатбекова // Жыйнакт: Илимий изилдөөлөрдөгү заманбап техника жана технологиялар. Жаш окумуштуулардын жана студенттердин эл аралык конференциясынын материалдарын чогултуу. – 2018. - 292-299-бб.

6. Кынатбекова Н. Н. Динамикадык байланыштуу түзүмү өзгөрүлмө сокку механизминин кинетостатикасы [Текст] / / Ж. Усубалиев, К.Т .Эликбаев, Н. Н. Канатбекова // материалдар Эларалык илимий-практикалык конф. "Информатика, механика жана робототехниканын актуалдуу көйгөйлөрү. Машина куруудагы санариптик технологиялар", Алма-Ата, 2018. -152-154-бб.
7. Кынатбекова Н. Н. Динамикадык байланыштуу түзүмү өзгөрүлмө сокку механизмининин эксперименттик изилдөөлөрүнүн натыйжалары [Текст] / Ж. Усубалиев, К.Т .Эликбаев, Т.О. Райымбабаев, Н.Н. Кынатбекова // Машинатаануу. – 2020. – № 1 (11). -Б.71-83.
8. Кынатбекова Н. Н. Кинетостатикалык талдоо ыкмасы менен динамикадык байланыштуу түзүмү өзгөрүлмө сокку механизминин динамикалык параметрлерин аныктоо [Текст] / Ж. Усубалиев, К.Т. Эликбаев, Н.Н. Кынатбекова // И. Абдраимов атындагы Кыргыз авиациялык институтунун жарчысы. "Авиатор". – № 2.– 2021. - Б.27-36.
9. Кынатбекова Н. Н. Динамикадык байланыштуу түзүмү өзгөрүлмө сокку механизминин роторунун ок толгоочусунун бурчтук ылдамдыгынын термелүүлөрүн аныктоо боюнча эксперименттик стенд [Текст] / Т.О. Райымбабаев, Н.Н. Кынатбекова // Машинатаануу. – 2019. – № 2 (10). - Б.27-38.
10. Кынатбекова Н. Н. Таш блогун массивден сокмо ыкма менен бөлүп алуу үчүн урма-шынаанын түзүлүшүн иштеп чыгуунун өбөлгөлөрү [Текст] / К.Т. Эликбаев, Н. Н. Кынатбекова // Машинатаануу. – 2021. – № 2(14). -45-53-бб.
11. Кынатбекова Н. Н. Динамикадык байланыштуу түзүмү өзгөрүлмө сокку механизминин такталган кинетостатикалык эсебинин натыйжалары. [Текст] / Ж. Усубалиев, К. Т.Эликбаев, Н. Н. Кынатбекова // Машинатаануу. – № 2 (12). -Б.10-21.
12. Кынатбекова Н.Н. Инерциялык күчтөр талаасындагы ротациялык маятниктин динамикалык модели [Текст] / Ж. Усубалиев, В.Э. Еремьянц, Н. Н. Кынатбекова // машиналар теориясынын заманбап проблемалары. – 2021. –№ 11. -Б.10-15.
13. Кынатбекова Н. Н. Ротациялык маятниктин термелүүсүнүн басаңдашына ар кандай параметрлердин таасирин баалоо [Текст]: / Н.Н. Кынатбекова // Машинатаануу. – 2021. – № 1(13). - 24-32-бб.
14. Кынатбекова Н.Н. ротациялык-маятниктик сокку механизминин кинематикасынын анализи [Текст] / В. Э. Еремянц, Н. Н. Кынатбекова // машиналар теориясынын заманбап проблемалары. – 2021. – № 12. -Б.10-15.
15. Кынатбекова Н.Н. Ротациялык-маятниктик сокку механизминин кыймылынын теңдемесин талдоо [Текст] / В.Э. Еремьянц, Н.Н. Кынатбекова. // КРСУ жарчысы. – 2022. - 22-Том, с. 4. -8-14-бб.
16. Кынатбекова Н. Н. Динамикадык байланыштуу түзүмү өзгөрүлмө сокку механизминин артка секирүү процессин изилдөө [Текст] / Ж. Усубалиев, Н.Н. Канатбекова // илим. Билим берүү. Техника. – 2024. – № 1(79). - 65-72-бб.

РЕЗЮМЕ

диссертации Кынатбековой Нуржамал Нуржановны на тему: «Динамика ударного механизма переменной структуры с динамической связью», на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.18 – теория механизмов и машин

Ключевые слова: ударный механизм; механизм переменной структуры; динамическая связь; кривошип (ротор); шатун; боек; ударная масса; математическая модель; раскрытия шатуна и др.

Объект исследования: ударный механизм переменной структуры с динамической связью.

Предмет исследования: являются закономерности изменения структуры механизма в течение цикла и взаимодействие звеньев механизма с учетом инерционных и внешних нагрузок.

Целью работы является исследование динамики ударного механизма переменной структуры (МПС) с динамической связью и выявление закономерностей, на основе которых может быть осуществлен прогноз и выбор рацональных параметров конструкции ручных ударных механизмов, отличающихся повышенной надежностью.

Методы исследования и аппаратура: исследование выполнялось на основе аналитических расчетов кинематики, кинетостатики и динамики ударного механизма. Экспериментальные исследования проводились на созданном стенде в Инженерном центре «Аскатеш». При измерениях использованы тахогенератор *Д-25Г*, с погрешностью измерения не более ± 1; осциллограф *UTD 2120 GEL*; лазерный бесконтактный тахометр DT2234C; измерительный прибор расхода жидкости, температуры и давления Turbinen-Durchflussmesser Serie: PTQ; камера высокоскоростной видеосъемки.

Полученные результаты и их новизна заключается в:

- дополнении классификации ручных ударных механизмов по характеру преобразования структуры;
- разработке математической модели ударного механизма с динамической связью, учитывающей момент сил импульса при движении механизма во время отскока ударной массы и выходе ее на периферию вращения;
- разработке методики определения кинематических, кинетостатических и динамических характеристик ударного механизма, позволяющей определить его рациональные параметры.

Степень использования: создан экспериментальный образец ударного механизма, разработана методика расчета динамики ударного двухподвижного механизма, которая может быть внедрена в учебный процесс.

Область применения: горная отрасль, строительство, дорожноремонтные работы.

05.02.18 – механиздердин жана машиналардын назарияты адистиги боюнча техникалык илимдер кандидатына талапкер Кынатбекова Нуржамал Нуржановнанын «Динамикалык байланыштуу түзүмү өзгөрүлмө сокку механизиминин динамикасы» темадагы диссертациялык иштин

БИЛДИРМЕСИ

Түйүн сөздөр: ургу механизм; түзүмү өзгөрүлмө механизм; динамикаллык байланыш; ийри муунак (ротор); тээк; ургуч; ургу масса; математикалык үлгү; тээктин ачылышы ж.б.

Изилдөө объекти: динамикалык байланыштуу түзүмү өзгөрүлмө сокку механизм.

Изилдөө буюму: күүлүк жана тышкы күчтөрдү эске алуу менен мерчемдин жүрүшүндө механизмдин түзүмүнүн өзгөрүшүнүн мыйзам ченемдүүлүктөрү жана механизм звенолорунун өз ара аракети.

Иш максаты: динамикалык байланыштуу түзүмү өзгөрүлмө механизминин (ТӨМ) динамикасын изилдөө жана мыйзам ченемдүүлүктөрдү аныктоо жана алардын негизинде жогору ишенимдүүлүгү менен айырмаланган кол сокку механизмдердин түзүлүшүн долбоорлоодо рационалдуу өлчөм мүнөздөмөлөрүн болжолдоо жана тандоо.

Изилдөө ыкмалары жана аппаратура: изилдөө сокку механизминин кинематикасын, кинетостатикасын жана динамикасын аналитикалык эсептөөлөрдүн негизинде жүргүзүлдү. Эксперименталдык изилдөөлөр «Аскатеш» инженердик борборунда түзүлгөн стендде жүргүзүлдү. Өлчөө учурунда Д-25Г тахогенератору колдонулган, өлчөө катасы ± 1ден ашпаган; осциллограф UTD 2120 GEL; лазердик контактсыз тахометр DT2234C; суюктуктун агымын, температураны жана басымды өлчөөчү аспап Turbinen-Durchflussmesser Serie: PTQ; жогорку ылдамдыктагы видео камера.

Алынган жыйынтыктар жана алардын жаңылыгы:

- кыймылды өзгөрткүчтүн түзүмү боюнча кол ургу механизмдердин классификациясын иштеп чыгуу (өзгөрмө түзүлүштөгү механизмдер);
- динамикалык байланыштуу ТӨМдүн сокку массасынын математикалык моделин иштеп чыгуу;
- сокку механизмдин кинематикалык, кинетостатикалык жана динамикалык мүнөздөмөлөрүн аныктоонун жана анын оптималдуу өлчөм мүнөздөмөлөрүн белгилөөнүн усулдугун иштеп чыгуу;

Колдонуу дэңгели: ургу механизминин эксперименталдык модели түзүлдү, эки кыймылдуу механизмдин динамикасын эсептөө усулдугу иштелип чыкты, ал окуу процессине киргизилиши мүмкүн.

Колдонуу тармагы: тоо кен өндүрүшүндө, курулуш, жолоңдоо иштери.

SUMMARY

of the dissertation of Kynatbekova Nurzhamal Nurzhanovna on the topic: "Dynamics of the impact mechanism of a variable structure with dynamic coupling", for the degree of Candidate of technical Sciences in the specialty 05.02.18 – theory of mechanisms and machines

Keywords: impact mechanism; mechanism of variable structure; dynamic coupling; crank (rotor); connecting rod; firing pin; impact mass; mathematical model; connecting rod opening, etc.

The object of the study is a shock mechanism of variable structure with dynamic coupling.

Subject of research: there are patterns of changes in the structure of the mechanism during the cycle and the interaction of the links of the mechanism, taking into account inertial and external loads.

The aim of the work is to study the dynamics of the variable structure impact mechanism (VSM) with dynamic coupling and to identify patterns on the basis of which a forecast and selection of rational design parameters of manual impact mechanisms characterized by increased reliability can be made.

Research methods and equipment: the research was carried out on the basis of analytical calculations of the kinematics, kinetostatics and dynamics of the impact mechanism. Experimental studies were carried out on a stand created in the Engineering Center "Askatesh". The following were used for the measurements: tachogenerator D-25G, with a measurement error of no more than ± 1; oscilloscope UTD 2120 GEL; laser non-contact tachometer DT2234C; measuring device for liquid flow, temperature and pressure Turbinen-Durchflussmesser Serie: PTQ; high-speed video camera.

The obtained results and their novelty consist in:

- addition to the classification of manual percussion mechanisms by the nature of the transformation of the structure;
- development of a mathematical model of a dynamically coupled impact mechanism that takes into account the moment of momentum forces during the movement of the mechanism during the rebound of the impact mass and its exit to the periphery of rotation;
- to develop a methodology for determining the kinematic, kinetostatic and dynamic characteristics of the impact mechanism, which makes it possible to determine its rational parameters.

Degree of use: an experimental model of the impact mechanism was created, a method for calculating the dynamics of a two-motion impact mechanism was developed, which can be introduced into the educational process.

Scope: mining, construction, road repair work.