

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Сәтбаев университеті

Металлургия және өнеркәсіптік инженерия институты

ӘОЖ 622.002

Қолжазба құқығында

Омар Гүлназ Мадиярқызы

Техникалық ғылымдардың магистрі академиялық дәрежесін алу үшін
дайындалған

МАГИСТРЛІК ДИССЕРТАЦИЯ

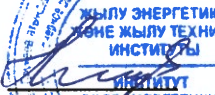
Диссертация атауы Флотациялық машиналардың сенімділігін
зерттеу және жедел диагностика әдістерін
қолдана отырып, олардың сенімділігін арттыру

Дайындау бағыты 7М07111 – «Машиналар мен жабдықтардың
сандық инженериясы

Ғылыми жетекші,
Техника ғылымдарының кандидаты, профессор

 Мырзахметов Б.А.

Пікір беруші,
Техника ғылымдарының кандидаты, доцент

 Мусабеков Р.А.

Норма бақылаушы,
Техника ғылымдарының кандидаты,
ассистент-профессор

 Бөртебаев С.А.

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
НАО «КазННТУ им.К.И.Сатпаева»
Институт Металлургии и
Промышленной инженерии

ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ
ТМКЖЛ кафедрасының
меңгерушісі,
техника ғылымдарының
кандидаты, асс. профессор

 Елемесов К.К.
“18” “06” 2021ж.

Алматы 2021

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Сәтбаев университеті

Металлургия және өнеркәсіптік инженерия институты

Технологиялық машиналар көлік және логистика кафедрасы

7M07111 - Машиналар мен жабдықтардың сандық инженериясы мамандығы

БЕКІТЕМІН

ТМКЖЛ кафедрасының меңгерушісі,
техника ғылымдарының кандидаты,
асс. профессор

Елемесов К.К

“ 05 ” желтоқсан 2019 ж.

**Магистрлік диссертация орындауға
ТАПСЫРМА**

Магистрант Омар Гүлназ Мадиярқызы

Тақырыбы Флотациялық машиналардың сенімділігін зерттеу және жедел диагностика әдістерін қолдана отырып, олардың сенімділігін арттыру
Университет ректорының 2019 жылғы "03" желтоқсан № 435 –м
бұйрығымен бекітілген.

Аяқталған жобаны тапсыру мерзімі 2021ж.

Дипломдық жобада қарастырылатын мәселелер тізімі:

- а) Флотациялық машиналардың конструкциялық құрылымы мен жұмыс принциптері және оларды қолданылуы. Жабын материалдарының негізгі түрлері мен параметрлері;
- б) Флотомашиналардың ресурстары мен сенімділігін арттыру әдістерін талдау
- в) Импеллердің сыртқы қаптамасын ауыстыру, жаңа сынамалы эпоксидті материал түрін таңдау.
- г) Полиуретанды жабын материалының жаңа түріне көшу;
- д) Флотациялық машиналардағы импеллер білігінің полиуретанды жабындарының кернеулі-деформацияланған күйін компьютерлік модельдеу;

Презентациялық материалдар тізімі:

- а) FLSmidth Dorr-Oliver ® флотомашинасының жалпы көрінісі
- б) Полиуретанды біліктерді сынауға арналған «Уником Сервис» стенді
- в) Сынау стендінің жалпы көрінісі
- г) Сынау стендінің негізгі элементтері;

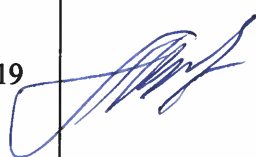
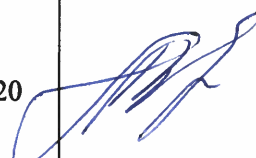
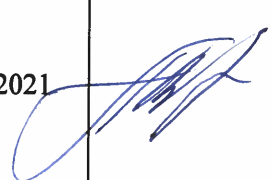
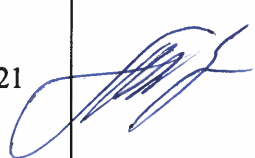
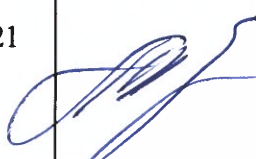
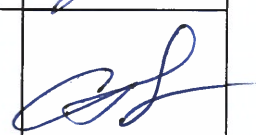
Ұсынылатын негізгі материалдар:

1. Kalker J.J. Viscoelastic multilayered cylinders rolling with dry friction // ASME. J. Appl. Mech. 1991. Vol.58. P.666-679.
2. Braat G.F.M., Kalker J J. Theoretical and experimental analysis of the rolling contact between two cylinders coated with multilayered viscoelastic rubber // Contact mechanics, computational techniques / Ed. M.H. Aliabadi and C.A. Brebbia.: Contact Mechanics publ., 1993. P.1 19-126.
3. Куцубина Н.В. Вибрационный расчет сложных валов БМ / Н.В. Куцубина, А.А. Санников: под ред. В.Н. Старжинского, А.А. Санникова.// Виброакустическое проектирование оборудования целлюлозно-бумажных и деревообрабатывающих производств - Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. акад., 1996.- С. 140-167.
4. ГОСТ 24621-91 Пластмассы и эбонит. Определение твердости при вдавливании с помощью дюрометра (твердость по Шору). - М.: Комитет стандартизации и метрологии СССР, 1991- 7с
5. ГОСТ 263-75 Резина. Метод определения твердости по Шору А. - М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1975. - 6с.

Магистрлік диссертация дайындау
КЕСТЕСІ

Бөлімдер атауы, қарастырылатын мәселелер тізімі	Ғылыми жетекші мен кеңесшілерге көрсету мерзімдері	Ескерту
1 Флотациялық машиналардың негізгі кемшіліктері мен ақауларын талдау	22.01.2019	
2 Флотамашиналардың ресурстары мен сенімділігін арттыру әдістерін талдау	12.03.2020	
3 Білік жабындарын зерттейтін сынақтау стендінің параметрлерін негіздеу	05.01.2021	
4 Флотациялық машиналардағы импеллер білігінің полиуретанды жабындарының кернеулі-деформацияланған күйін компьютерлік модельдеу	25.02.2021	
5 Қаптау параметрлерін эксперименттік зерттеу	15.04.2021	

**Аяқталған магистрлік диссертация бөлімдеріне кеңесшілер мен
норма бақылаушының қойған қолтаңбалары**

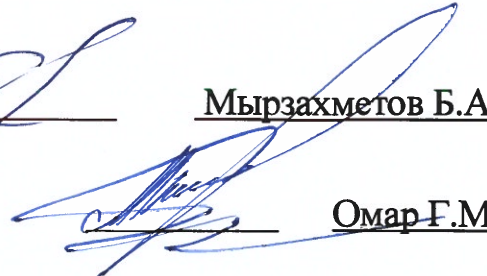
Бөлімдер атауы	Кеңесшілер, аты, әкесінің аты, тегі (ғылыми дәрежесі, атағы)	Қол қойылған күні	Қолы
1 Флотациялық машиналардың негізгі кемшіліктері мен ақауларын талдау	Техника ғылымдарының кандидаты, профессор Мырзахметов Б.А	22.01.2019	
2 Флотамашиналар ресурстары мен сенімділігін арттыру әдістерін талдау	Техника ғылымдарының кандидаты, профессор Мырзахметов Б.А	12.03.2020	
3 Білік жабындарын зерттейтін сынақтау стендінің параметрлерін негіздеу	Техника ғылымдарының кандидаты, профессор Мырзахметов Б.А	05.01.2021	
4 Флотациялы машиналардағы импеллер білігінің полиуретанды жабындарының кернеулі-деформацияланған күйін компьютерлік модельдеу	Техника ғылымдарының кандидаты, профессор Мырзахметов Б.А	25.02.2021	
5 Қаптау параметрлерін эксперименттік зерттеу	Техника ғылымдарының кандидаты, профессор Мырзахметов Б.А	15.04.2021	
Норма бақылаушы	Техника ғылымдарының кандидаты, ассистент-профессор Бөртебаев С.А	10.05.2021	

Ғылыми жетекші



Мырзахметов Б.А

Тапсырманы орындауға алған білім алушы



Омар F.M

Күні

" 05 " 12 20 19 ж.

АНДАТПА

Диссертациялық жұмыста «Флотациялық машиналардың сенімділігін зерттеу және жедел диагностика әдістерін қолдана отырып, олардың сенімділігін арттыру » тақырыбы бойынша ғылыми зерттеулердің нәтижесінде практикалық ұсыныстар әзірленді.

Жобаның мақсаты – жабынды материалдардың физика-механикалық қасиеттерін ескере отырып, импеллер білігінің түйісу аймағындағы кернеулі-деформацияланған күйдің параметрін және істен шығудың негізгі себептерін анықтап, қаптаудың жаңа түрін ұсыну.

Компьютерлік модельдеуді қолдана отырып, екі жабыны бар цилиндрдің контактісін модельдеу «Ansys» элементарлық пакетінде зерттелді.

АННОТАЦИЯ

В диссертационной работе разработаны практические рекомендации по результатам научных исследований по теме «Исследование надежности флотационных машин и повышение их надежности с использованием методов оперативной диагностики».

Цель работы - определить параметры напряженно-деформированного состояния в зоне контакта вала импеллера с учетом физико-механических свойств материалов покрытия и предложить новый вид покрытия.

Моделирование контакта цилиндра с двумя покрытиями с использованием компьютерного моделирования исследовано в элементном пакете «Ansys».

ANNOTATION

In the dissertation work, practical recommendations were developed based on the results of scientific research on the topic "Research on the reliability of flotation machines and improving their reliability using operational diagnostic methods".

The aim of the work is to determine the parameters of the stress - strain state in the contact zone of the impeller shaft, taking into account the physical and mechanical properties of the coating materials, and to propose a new type of coating.

Simulation of the contact of a cylinder with two coatings using computer simulation is investigated in the element package «Ansys».

МАЗМҰНЫ

	Кіріспе	
1	Флотациялық машиналардың негізгі кемшіліктері мен ақауларын талдау	11
1.1	FLSmidth Dorr-Oliver ® флотмашинасының конструкциялық сипаттамасы	12
1.2	Флотациялық машиналардағы жабдықтарды пайдалану үдерісі кезіндегі туындайтын қиындықтар мен негізгі мәселелер.	13
2	Флотамашиналардың ресурстары мен сенімділігін арттыру әдістерін талдау	17
2.1	Полиуретанды жабындардың негізгі қасиеттері мен сипаттамалары	21
2.2	Жабындардың техникалық күйінің құрылымдық параметрлері	23
2.3	Беткі қабаттардың діріл белсенділігі мен кернеулі деформацияланған жағдайы кезіндегі диагностикалық параметрлерді талдау.	25
3	Білік жабындарын зерттейтін сынақтау стендінің параметрлерін негіздеу	27
3.1	Сынақ стендінің құрылымын күштік талдау, стендтің қолданылу аймағы	27
3.2	Қысқыш біліктің меншікті тербелістерінің жиіліктері	30
4	Флотациялық машиналардағы импеллер білігінің полиуретанды жабындарының кернеулі-деформацияланған күйін компьютерлік модельдеу	39
4.1	Компьютерлік модельдеу нәтижелері мен жабынды сынау стендінің нәтижелерін салыстыру.	41
4.2	Жазық модельді байланыс аймағының кернеулі-деформацияланған күйін және орта аралық қашықтықты анықтау	49
4.3	Сынамадағы материалдың көлбеулік геометриясының өзгеруі кезіндегі білік жиектеріндегі жабындардың кернеулі-деформацияланған күйін анықтау	54
5	Қаптау материалдарының параметрлерін эксперименттік зерттеу	57
5.1	Сынау үлгілеріндегі температуралық зерттеулер, жабын температурасын анықтау	57
5.2	Үлгілердің байланыс қаттылығының коэффициенттерін анықтау	62
5.3	Бөлім бойынша қорытынды	64
	Қорытынды	
	Пайдаланылған әдебиеттер тізімі	
	Қосымша	

ҚЫСҚАРТЫЛҒАН СӨЗДЕР ТІЗІМІ

ФМ - Флотациялық машина
КДК – Кернеулі деформациялық күй
СЭӘ – Соңғы элементтер әдісі
ШЦ - Штангенциркуль
АМБК - Ақтоғай мыс-кен орнын байыту комбинаты
NBR - Нитрил бутадиенді каучук
EPDM - Этилен-пропилен каучук
SBR - Бутадиен-стирольді каучук
PU – Полиуретан

ШАРТТЫ БЕЛГІЛЕНУЛЕРІ

A-аудан, м²
D-диаметр, м
k – тербелісті үйкеліс коэффициенті
Г- стендтің жетек білігінің радиусы
 S_a – тербелістердің амплитудасы
 ω - бұрыштық жылдамдық
P – қысу күші, кН
 σ – кернеу, МПа
C – қаттылық, 10⁷Н/м
r, r₀ – білік беті радиустары
 φ – айналу бұрышы
J – көлемнің салыстырмалы өзгерісі
n₂ – біліктің айналу жиілігі, айн/мин
m₂ – біліктің салмағы, кг
X – қашықтық
 $\Delta r_{\text{есептік}}$ – өсаралық арақашықтық
T – температура, °C
 $\tau_{\text{есептік}}$ – тангенциалды кернеу, МПа

КІРІСПЕ

Қазіргі уақытта мыс-кен орындарын игеру мақсатында Флотациялық машиналарды қолдану көлемі айтарлықтай өсуде. Соның негізі болып, Қазақстанның оңтүстік-шығысында, Қазақстан-Қытай шекарасынан шамамен 250 км жерде орналасқан ашық типтегі ірі Ақтоғай мыс игеру кеніші мысал болып табылады. Жалпы ұжымдық флотацияның мақсаты ұсақтау телімінен келіп түсетін, ұсақталған кеннен мыс пен молибденді бөліп шығару. Молибденді флотациялау процесі екі жеке концентратты шығару үшін ұжымдық флотация шеңберінде алынған мыс пен молибден концентраттарын бөлуді қамтиды. Мыс концентраты 25% және одан да көп болуы тиіс, ал молибден концентраты 20% және одан да көп концентрациясы болуы шарт.

Флотациялық ұсақталудың технологиялық параметрлері, ұсақтау процесінің пайдалану сипаттамаларына елеулі әсер етеді. Диссертациялық жұмыста қарастырылатын басты мәселе, флотациялық машиналардың қызмет ету мерзімін жақсарту және оны пайдалану кезінде сенімділігін арттыру есебінде, оның негізгі элементі болып табылатын импеллерді (роторды) полиуретанды материалмен қаптау (гуммирлеу).

Жұмыстың мақсаты келесі мәселелерді шешу арқылы флотамашинаның негізгі жұмысшы элементі болып табылатын импеллер мен оның білігінінің полиуретанды жабындарының ресурсын арттыру болып табылады:

- жабындардың физикалық-механикалық қасиеттерін ескере отырып, біліктің түйісу аймағындағы кернеулі-деформацияланған күйдің параметрін анықтау;
- көлбеу геометриясын ескере отырып, біліктің шеттеріндегі кернеулі-деформацияланған күй параметрлерін модельдеу;
- температураның өзгеруімен жаңа жабындардың физика-механикалық қасиеттерін эксперименттік анықтау;
- стендтегі біліктердің полиуретанды жабындарын кешенді зерттеу.

Теориялық зерттеулер машиналар динамикасының іргелі ережелерін, тербелістер теориясын, соңғы элементтер әдістерін қолдана отырып жүргізілді. Эксперименттік зерттеулер "Уником-Сервис" стендінде жүргізілді, ол біліктердің полиуретанды жабындарын зерттеу үшін арнайы жасалған.

Зерттеу объектісі болып: флотациялық машинаның негізгі жұмыс көзі, басты міндеті болып машинаның жұмысы кезінде сорғы ретінде әрекет етіп, тіпті үлкен материалдың суспензиясының біркелкілігін қамтамасыз ететін, аэрацияны тудыруға арналған «Импеллер» алынды.

Зерттеу тақырыбының өзектілігі. Қазіргі таңда негізгі жабдықтарды қаптау, яғни гуммирлеу (резеңке, локтайт, керамика) тозуға қарсы басты жүргізілетін шара ретінде техникада кеңінен қолданылады. Мысал ретінде біздің АМБК (Ақтоғай мыс-кен орнын байыту комбинаты) алып қарастырсақ болады. Ұсақтау процесінің өтілуі барысында, кезеңдік гидроциклондар флотамашинаның қабылдау камерасына үлкен тастарды тастайды, ол тастардың үлкен жылдамдықпен түсуінің әсерінен, импеллердің қаптамасы

тозуға, қажалуға, жемірілуге ұшырайды. Бұл бұзылулардың алдын алу мақсатында, диагностиалық зерттеулер, сынаулар жүргізіледі. Сонымен қатар, жабындардың кернеулі-деформацияланған күйін және температураның өзгеруі кезінде жабынның физика-механикалық сипаттамаларының өзгеруін зерттеу түйісу аймағындағы кернеулердің, деформациялардың, қозғалыстардың таралу суреттерін алуға және олардың пайда болуын анықтауға мүмкіндік береді. Жоспарлы жөндеу жұмыстарынан кейінгі алынған нәтежилерді сараптай келе, компоненттің жүрісін арттыру үшін, импеллерді полиуретанды материалмен қаптауды (гуммирлеуді) жүзеге асыру.

Жұмыстың практикалық мәні осы ұсынылып отырған жабын түрінің кәсіпорында тұрақты негізде қолданылуын қамтамасыз ету. Алынып отырған «Полиуретанды» жабын материалының басқа жабын материалдарынан қаттылығын, температуралық тұрақтылығын, сенімділігін дәлелдеп, тестілі импеллерді іске қосу.

Жұмыстың ғылыми жаңалығы. Полиуретанды жабындардың физика-механикалық қасиеттерін ескере отырып, біліктердің жабындармен байланысының математикалық моделі жүзеге асырылды. Әр түрлі сызықтық қысым кезінде біліктер арасындағы байланыс нүктесінің мөлшері мен формасы анықталады. Біліктердің түйісу аймағында полиуретанды жабындардың кернеулі деформацияланған күйі процестерін сандық модельдеу жүзеге асырылды. Температураның жоғарылауымен полиуретанды жабындардың қаттылығының өзгеруі анықталды. Беткей геометриясының жабындардың шеттерінде кернеулі-деформацияланған күй параметрлерінің таралу әсері анықталды. Сызықтық қысымға байланысты байланыс аймағындағы қаттылық коэффициенттері анықталды. Байланыс аймағындағы температураның өзгеруі жылдамдық режимдеріне және сызықтық қысымға байланысты анықталады. Әр түрлі жұмыс режимдеріндегі біліктердің динамикалық сипаттамаларының өзгеруі анықталды.

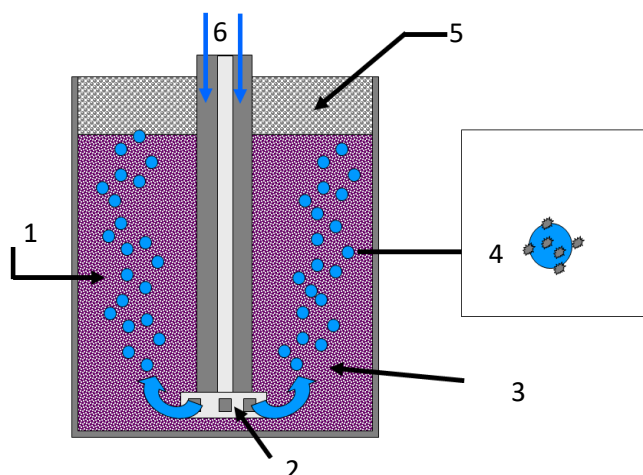
1 Флотациялық машиналардың негізгі кемшіліктері мен ақауларын талдау

Көбік флотациясы-пайдалы қазбаларды байытудың қазіргі таңдағы көп қолданылатын әдісі. Флотация процессі негізгі жабдық-механизмдердің көмегімен механикалық араластыру кезінде бөлінетін газ көпіршіктері атмосфералық ауанын көмегімен үгітілген мыс кеніне жабысып, пайдалы қазбадан мыс пен молибденді бөліп алу үшін флотациялық машиналардың бетіне көбік түрінде көтереді [2]. Ұсақ бөлшектердің газ көпіршіктеріне жабысуы нәтижесінде көпіршіктердегі минералды бөлшектер мен ауаның үлесі төмендейді және қойыртпақтың нақты салмағынан аз болады, сондықтан бөлшектер қойыртпақ деңгейінен жоғары көтеріледі. Көбікті флотация белгілі бір минералдарды немесе материалдарды бір-бірінен бөлу үшін пайдаланылатын бірнеше өңдеу процестерінің көрінісі болып табылады.

Негізгі мақсаты бастапқы минералдардан нақты минералдарды бөлу яғни "Іріктеуші" процесс. Бұл - белгілі бір минералдың концентратын алу үшін, көптеген тау-кен кәсіпорындарында қолданылатын байыту әдісі. Өндірілетін концентрат неғұрлым бай құрамды болуы, кейінгі өңдеу жұмыстары үшін де соғұрлым экономикалық тиімді. Көбікті флотация әдісі - әр түрлі минералдардың бөлшектер бетіндегі физикалық және химиялық қасиеттерінің айырмашылықтарын бөліп көрсетуге негізделген [6].

Флотациялық процесс флотациялық тізбектер немесе флотамашиналар тобында іске асырылады. Тізбектер мен машиналар пішіні мен конфигурациясы бойынша ерекшеленсе де, олар бөлшектерді бөлу үшін қолданылатын көбік флотациясының ұқсас принциптері бойынша жұмыс істейді. Тікелей флотация процесінде бағалы минерал қойыртпақтың бетіне шығады. Кері флотация процесінде қалдық материал арнайы құбыр жолымен шығып кетеді (және байыту қалдықтары ретінде жойылады), ал бағалы минерал тізбек астына немесе машина бетіне көтеріледі [7].

Көбікті флотация үдерістерінің көпшілігінде бағалы минералдың қажетіне қарай бір кезеңге шоғырлануына қол жеткізу қиын және сирек болады. Әдетте материал бірінші кезекте бастапқы бөлуді (негізгі флотация) талап етеді, одан кейін қайта өңдеуді қажетсінеді. Бұл көбік концентраты негізгі флотация кезеңінен кейін, әдетте, минералдың концентрациясын арттыру мақсатында, бос жыныстан бағалы минералды одан әрі бөлу үшін, флотацияның тағы бір циклі (тізбекті флотация ретінде белгілі) өтетінін білдіреді. Сондықтан негізгі флотация кезеңі бастапқы фазалық бөлу үшін пайдаланылады, ал тізбекті флотация бағалы минералдың концентрациясын арттыру үшін қолданылады. Мыс пен молибден бір флотамашинада толығымен алынуы мүмкін емес, сондықтан флотамашиналар "сыйымдылықтар" немесе "тізбектер" деп аталатын бірнеше қатарға орнатылады [3-6]. Бір тізбекте немесе желіде он флотамашинаға дейін орнатылуы мүмкін, яғни бұл пайдалану барысындағы өнеркәсіптегі өнімнің көлеміне тікелей байланысты.



1-ауа көпіршіктері; 2- ротор және диффузор; 3-қойыртпақ; 4- минералды ауа көпіршіктері; 5-минералды көбік немесе көбікті концентрат; 6-ауа.

1 Сурет - Тура флотация мен флотомашинаның сұлбасы

1.1 FLSmidth Dorr-Oliver флотомашинасының конструкциялық сипаттамасы

FLSmidth Dorr-Oliver флотомашинасы қарқынды араластыруды және аэрацияны қамтамасыз ететін патенттелген ротор мен статорды қарастыратын құрылымының бірегейлігімен ерекшеленеді. Флотомашина құрылымына жоғарғы мойынтірек корпусы, жоғарғы білік, құбырлы төменгі білік және ротор арқылы берілетін төмен қысымды ауа мен бөлшектер арасында оңтайлы байланыс орнатуға мүмкіндік беретін қойыртпақ кіреді.

FLSmidth Dorr-Oliver машинаның роторы мен статоры қатты фракциялардың айналымын қолдайды және аз қуат тұтынған кезде ұсақ көпіршіктер түрінде жеткілікті ауа көлемін таратады. Бір қабатты қабырғасы бар құйынды ротор қойыртпақты камераның төменгі жағынан сорып, оны ротор білігінің жоғарғы жағымен ағызады. Статор қойыртпақ ағынын сыртқа және жоғарыға бағыттайды, бұл флотомашина ішіндегі қатты фракциялардың оңтайлы суспензиясын және ауа дисперсиясын қамтамасыз етеді. Ротор сорғы ретінде әрекет етіп, тіпті үлкен материалдың суспензиясының біркелкілігін қамтамасыз етеді. Ротордың кішкентай мөлшері және өнімді емес турбуленттіліктің болмауы энергияны тұтынуды минимумға дейін төмендетеді. Төменгі аймақта қойыртпақ айналымы мен қатты суспензия жақсарады, көбік қабаты тегіс және тұрақты болып қалады. Әрбір қалақшаның шығыс бетінде айналуы кезінде пайда болатын ауа қалталары қойыртпақпен үлкен байланыс жазықтығын қамтамасыз етеді. Турбуленттілік аймағында ауа мен целлюлозаны тиімді араластыру арқылы бүкіл камерада көпіршіктер мен пайдалы қазбалар бөлшектерінің соқтығысуы күшейіп, көпіршіктер көбік қабатына көтеріледі.



1-беріліс қорабы; 2-қозғалтқыш; 3-көбік краудері; 4-радиал шайғыш; 5-араластыру бөлімдері; 6-тазалау каналы; 7-импеллер (ротор); 8-диспергатор сорғысы; 9-диспергатор; 10- резервуарлық беткейлер; 11- деңгейді реттеу клапандары; 12- қалдықтарды төгу құбыры; 13-редуктор; 14-импеллер білігі; 15-ауа қабылдау түтігі;

1.1 Сурет - 250 м³ көлемді Флотациялық машина

Жиналған көбік радиалды ойықтардың көмегімен түсіру науасына беттеп біріктіріледі. Төмен перифериялық жылдамдық тозуды азайтуға және энергияны үнемдеуге көмектеседі. FLSmidth Dorr-Oliver жүйесінің негізгі модулі-камерадан, механизм түйінінен және радиалды қоқыс түйінінен тұратын флотомашина. Флотокамералар бір-бірімен байланысып, қатарлар түзеді. Барлық камералар целлюлозаның өздігінен қозғалуын қамтамасыз ету үшін бөренелерде орналасқан.

1.2 Флотациялық машиналардағы жабдықтарды пайдалану үдерісі кезіндегі туындайтын қиындықтары мен негізгі мәселелері.

Флотамашина импеллері қойыртпақтың камера қабырғаларына радиалды айналуын және импеллердің төменгі бөлігінде кері ағындарды қамтамасыз етуі тиіс, бұл ретте флотамашина камерасының түптік бөлігіне ілесу немесе ілінудің болмауы маңызды. Бұл диссертациялық жұмыста импеллердің сенімділігін, пайдалану мерзімін арттырудағы оны қаптаудың бірнеше әдістері қарастырылып, оларға сараптама жүргізілді.

1-ші сараптама: Hexagon ceramic материалы қолданылды (жағылды), 7939 сағат өткеннен кейін импеллер қалақшаларының тозуын, жемірілуін анықтадық, сараптама нәтижесі материалдың осы торапта жарамсыз екенін көрсетті.

1.1 Кесте - Hexagon ceramic материалы бойынша сараптама нәтижесі

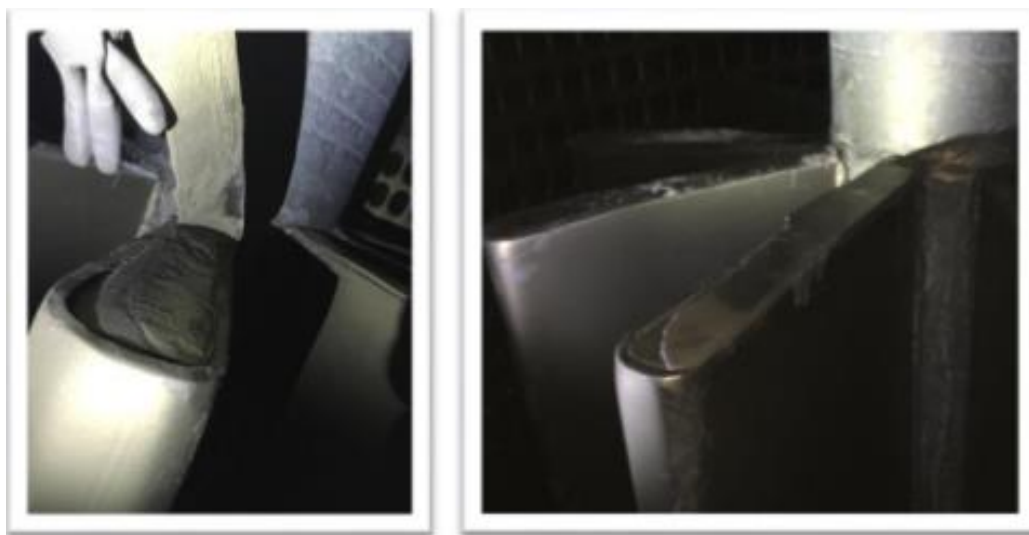
Флотация Телімі	Ауыстыру мерзімі	Өндіруші	Істен шығулар уақыт аралығы	Жұмыс істеу уақыты
3430-FO-102	22.01.2020	KazRema	4340	9586
	17.02.2020	Hexagon ceramic	758	13926
	23.03.2020	KazRema	7939	14684

2-ші сараптама: Импеллерді Loctite 7218 қаптадық, 2000 сағаттан кейін инспекция кезінде импеллер қалақшалары мен білігінде тозу байқалды және есептеуіш датчик жұмысы тоқтатылды.

1.2 Кесте - Loctite 7218 ceramic материалы бойынша сараптама нәтижесі

Флотация телімі	Ауыстыру мерзімі	Өндіруші	Істен шығулар уақыт аралығы	Жұмыс істеу уақыты
3430-FO-106	06.09.2019	KazRema	2784	10861
	16.11.2019	Loctite7218	758	987
	09.02.2020	Loctite 7218+7117	2000	13511

3421-FO-102,106 флотамашиналарында тексерулер жүргізілді, оның өтілуі барысында келесі жағдайлар анықталды:



1.2 Сурет – Импеллерік қажалу

Импеллерлік гуммирленуінің тозуы

Шешу жолы: импеллерді гуммирлеудің жаңа түріне көшу



1.3 Сурет – Импеллерлік гуммирленудің тозуы

Қазіргі таңда негізгі жабдықтарды қаптау, яғни гуммирлеу (резеңке, локтайт, керамика) тозуға қарсы басты жүргізілетін шара ретінде техникада кеңінен қолданылады. Мысал ретінде біздің АМБК (Ақтоғай мыс-кен орнын байыту комбинаты) алып қарастырсақ болады. Ұсақтау процесінің өтілуі барысында, кезеңдік гидроциклондар флотамашинаның қабылдау камерасына үлкен тастарды тастайды, ол тастардың үлкен жылдамдықпен түсуінің әсерінен, импеллердің қаптамасы тозуға, қажалуға, жемірілуге ұшырайды. Бұл бұзылулардың алдын алу мақсатында, диагностиалық зерттеулер, сынаулар жүргізіледі. Алынған нәтежилерді зерттей келе, компоненттің жүрісін арттыру үшін, импеллерді полиуретанды материалмен қаптауды (гуммирлеуді) ұсынып отырмыз. Бұл орайда біз материалды сынақ стендінде сынап көрдік.

Материалдың қасиеттері $+80\text{ }^{\circ}\text{C}$ дейінгі температурада жұмыс істеуге мүмкіндік береді, $+120\text{ }^{\circ}\text{C}$ дейінгі температурада бұйым бұзылмайды. Сыртқы ортаның әсерінен беттерді тиімді қорғау, үйкелуге деген жоғары төзімділік пен ұзақ қызмет ету мерзімі қамтамассыз етіледі. Сонымен қатар, абразивті орталардағы тұрақтылық есебінен қызмет ету мерзімі ұлғайтылады. Осы қасиеттерді ескере отырып, біз полиуретанды импеллерді сынауға және оның жағдайын бақылауға шешім қабылдадық.

Мәселенің даму дәрежесі.

Контактілі өзара әрекеттесу теориясы аясында отандық және шетелдік ғалымдардың көптеген жұмыстары беттік серпімді кабаттардың кернеулі-деформацияланған күйін зерттеу мәселелеріне арналған. Шетелдік зерттеушілер арасында РФА механика проблемалары институтының ғалымдары, атап айтқанда, И.Г. Горячева, оның әріптестері мен шәкірттері үлкен жетістіктерге жетті [3-6]. Олардың зерттеулері цилиндрді жабысқақ такелажда сырғыту кезінде кернеулер мен деформациялар арасындағы қатынасты алуға мүмкіндік берді; нақты материалдардың жетілмеген

серпимділігінің және байланыс аймағындағы денелердің сырғып кетуінің осы аймақтағы кернеулердің таралуына әсерін анықтады. Бұл жұмыстарды импеллердің жабыны мен оның жанасу аймағындағы кернеулі-деформацияланған күйін анықтау үшін таза түрде қолдануға болмайды, өйткені олар "білік жейдесі-жабынының" шекарасындағы кернеулердің, деформациялардың таралуын ескермейді, онда ақаулар пайда болады, бұл флотамашинаның тоқтап қалуына әкеледі.

Жұмыс режимін, жабыны бар импеллер білігінің динамикалық сипаттамаларын ескере отырып, әртүрлі геометриялық өлшемдегі жабындардың кернеулі - деформацияланған күйін зерттеу және температура өзгерген кезде жабындардың физика-механикалық сипаттамаларының өзгеруін зерттеу ең перспективті жол болып табылады. Бұл зерттеулер кернеулі-деформацияланған күйді анықтау әдістемесін пысықтауға, түйісу аймағындағы кернеулердің, деформациялардың, орын ауыстырулардың таралу суреттерін алуға және олардың пайда болу себебін анықтауға мүмкіндік береді.

Алынған мәліметтер мен тәжірибелік дәлелденген есептеу әдістерін практикада қолдану өндіріс кезінде жабындардың геометриялық өлшемдері мен физика-механикалық қасиеттеріне негізделген өзгерістер енгізуге мүмкіндік береді. Бұл деректерді жұмыс тиімділігін арттыру үшін жабындары бар біліктерді пайдалану кезінде АМБК (Ақтоғай мыс-кен орнын байыту комбинаты) кәсіпорындарының технологиялық қызметтері де пайдалана алады.

Жұмыстың мақсаты келесі мәселелерді шешу арқылы флотамашинаның негізгі жұмысшы элементі болып табылатын импеллер мен оның білігінің полиуретанды жабындарының ресурсын арттыру болып табылады:

- 1) жабындардың физикалық-механикалық қасиеттерін ескере отырып, біліктің түйісу аймағындағы кернеулі-деформацияланған күйдің параметрін анықтау;
- 2) көлбеу геометриясын ескере отырып, біліктің шеттеріндегі кернеулі-деформацияланған күй параметрлерін модельдеу;
- 3) температураның өзгеруімен жаңа жабындардың физика-механикалық қасиеттерін эксперименттік анықтау;
- 4) стендтегі біліктердің полиуретанды жабындарын кешенді зерттеу.

Теориялық зерттеулер машиналар динамикасының іргелі ережелерін, тербелістер теориясын, соңғы элементтер әдістерін қолдана отырып жүргізілді. Эксперименттік зерттеулер "Уником-Сервис" стендінде жүргізілді, ол біліктердің полиуретанды жабындарын зерттеу үшін арнайы жасалған.

2 Флотамашиналардың ресурстары мен сенімділігін арттыру әдістерін талдау

Флотамашиналарда импеллерлерінің басым көпшілігінде эластомерлік материалдардан жасалған жабындармен қапталады. Жабындарды пайдалану байыту процесін тиімдірек етеді, біліктер мен импеллер қалақшаларының қызмет ету мерзімі артады, ал бұл әрине тікелей дайын өнімнің сапасының артуына жол ашады. Импеллерді қаптау үшін қолданылатын полиуретандар мен резеңкелер - бұл физикалық қасиеттері белгілі құрылымдық материалдардан сапалы ерекшеленетін полиөлшемді материалдар. Деформацияланған кезде “Эластомерлер” келесі қасиеттерге ие: серпімді аймақта үлкен деформацияны сезіну қабілеті; төмен көлемді сығылу және жылжу кезінде үлкен икемділік; механикалық сипаттамалардың температураға, жылу жылдамдығына, энергияның әсер ету және диссипация құбылыстарына тәуелділігі. Көбінесе эластомерлі жабындардың сенімділігі мен беріктігі олардың кернеулі-деформацияланған күйімен анықталады.

Қазіргі уақытта отандық және шетелдік өнеркәсіп физика-механикалық қасиеттердің кең спектрімен әртүрлі полимерлі материалдардан жабындардың сан қырлы түрін шығарады.

Табиғи резеңке (N11) - металмен жақсы адгезияға ие, жоғары ұсақтауға төзімді, ылғалға төзімді, тозуға төзімді, жоғары икемділікке және төмен қалдық деформацияға ие. Жұмыс температурасының диапазоны -60°C -тан $+75^{\circ}\text{C}$ -қа дейін, ең қысқа уақыт $+95^{\circ}\text{C}$ -қа дейін шыдайды [6]. Табиғи каучук қазіргі заманғы өнеркәсіпте іс жүзінде қолданылмайды, өйткені ол май мен бензинге төзімділігі төмен және құны өте жоғары.

Нитрилді резеңке (NBR) жоғары ұсақтауға, тозуға төзімді. Жұмыс температурасы $+80^{\circ}\text{C}$ дейін, жабындардың кейбір түрлері үшін қысқа мерзімді температура $+130^{\circ}\text{C}$ дейін рұқсат етіледі [7]. Ол тамаша май-бензинге төзімділікпен сипатталады (спирттер, өсімдік майлары, қышқылдар). Озон, кетондар, эфирлер және көмірсутектер нитрилді резеңкеге теріс әсер етеді.

Полихлоропрен каучук (CR) - химикаттарға (қышқылдар, майлар, еріткіштер, озон) төзімді. Озон, кетондар, эфирлер және көмірсутектер полихлоропрен резеңке жабындыларына теріс әсер етеді. Жұмыс температурасы $+80^{\circ}\text{C}$, температураның $+110^{\circ}\text{C}$ дейін қысқа мерзімді өсуіне жол беріледі.

Үш еселік этилен-пропилен каучук (EPDM) озонға қарсы жақсы төзімділікке, жоғары температураға төзімділікке ($+180^{\circ}\text{C}$ дейін), май-бензинге төзімділікке және тозуға төзімділікке ие. Үш еселі этилен-пропилен резеңке арзан шикізаттан жасалған, сондықтан барлық салаларда кеңінен қолданылады [7].

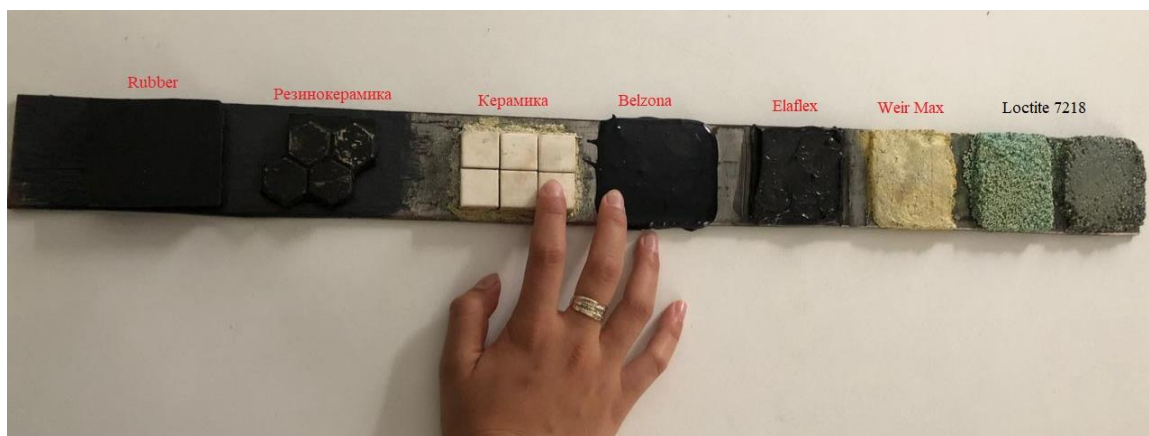
Бутадиен-стирольді каучук (SBR) - металмен жақсы адгезияға және тамаша тозуға төзімділікке ие. Ол әлсіз химиялық заттардың, қышқылдардың, сілтілердің, органикалық қышқылдар мен спирттердің әсеріне төтеп береді. Майлар, көмірсутектердің көп бөлігі және концентрацияланған қышқылдар

бутадиен-стирол каучуктың жабындарын бұзады, осылайша оның беріктігі мен пайдалану сапасын төмендетеді [27].

Loctite® 7117™ brushable ceramic-бұл екі компонентті эпоксидті жабынмен толтырылған ерімейтін керамикалық жабын. Ол металл беттерін абразивті және агрессивті заттардан қорғауға арналған. Оны металл беттерге тегіс қорғаныс жабыны ретінде немесе *Loctite®* - тің үстіне төмен үйкеліс жабыны ретінде қолдануға болады. Типтік қосымшалар жылу алмастырғыштарды, конденсаторларды, резервуарларды, ойықтарды жөндеу және клапандар корпустары немесе сорғылар мен олардың жұмыс дөңгелектерін қорғаудың негізгі көзі болып табылады.

Belzona 2141 (ACR - сұйық Эластомер) - кавитация және эрозия нәтижесінде пайда болған өте жоғары жергілікті қысымға төзімді қорғаныс жабындарын қолдануға арналған екі компонентті эластомерлі композит. Бұл әмбебап сұйық материал ұзақ уақыт бойы адгезияны батыру жағдайында сақтайды және орташа немесе жоғары қарқынды кавитация жағдайында босатылған энергияны таратады. *Belzona * 2141 (ACR-сұйық Эластомер)* келесідей мүмкіндіктерді береді: техникалық қызмет көрсетуді жеңілдету, жабдықтың қызмет ету мерзімін ұзарту, коррозия эрозиясынан қорғау.

BR MetaLine 700 сериясы - бұл вулканизацияланған резеңке жабындардың тиімділігі мен өнімділігін және дуплексті Болаттың тұрақтылығымен қарапайым өңдеуді біріктіретін эластомерлі өнім. *Metaline S-700* аппликаторының көмегімен картридж қаптамасында ұсталған полимер бір уақытта араластырылады және шашыратылады. *Metaline* процесі толық металл компоненттерін қорғауға, сондай-ақ қолданыстағы резеңке төсемдер мен бөлшектерді жөндеуге жарамды.



2 Сурет - АМБК (Ақтоғай мыс-кен орнын байыту комбинаты) қолданылатын жабын материалдарының түрлері

15.10.2019 күні жоспарлы жөндеу жұмыстары аясында жабдықтың жай-күйі мен сенімділігін бақылау тобының ақпаратына және жеке бақылауларына сәйкес, импеллерді қаптау жүйесінің абразивті тозуы проблемасы байқалды.

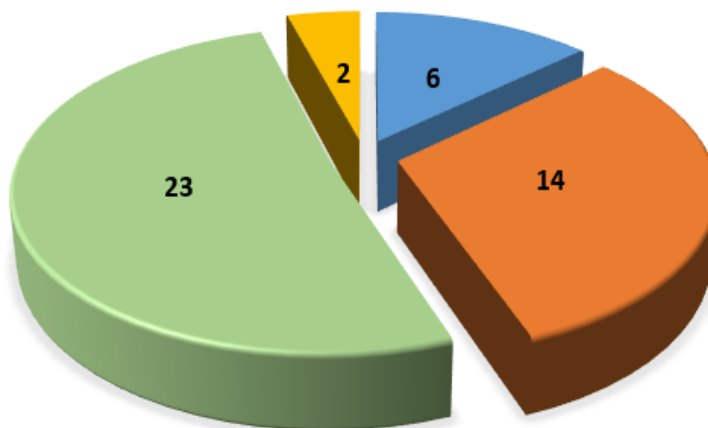


2.1 Сурет - ИмPELLердің резеңкелі қаптамасының (гуммировкасының) тозуы және қабыршақтануы.

Қазіргі уақытта эпоксидті материалдардың тозуы, соның салдарынан имPELLердің құлауы және істен шығуы маңызды мәселе түрінде көрініс табуда. Сондай-ақ, мойынтіректердің қызып кетуіне және түсіру жүйесінің құрылғысының тозуына байланысты бірқатар қиындықтар туындауда.

Мәселені шешу жолдары:

1. WR125598 ИмPELLердің сыртқы қаптамасын ауыстыру, жаңа сынамалы эпоксидті материал түрін таңдау.



2.2 Сурет - Флотациялық жабдықтардың істен шығу диаграммасы

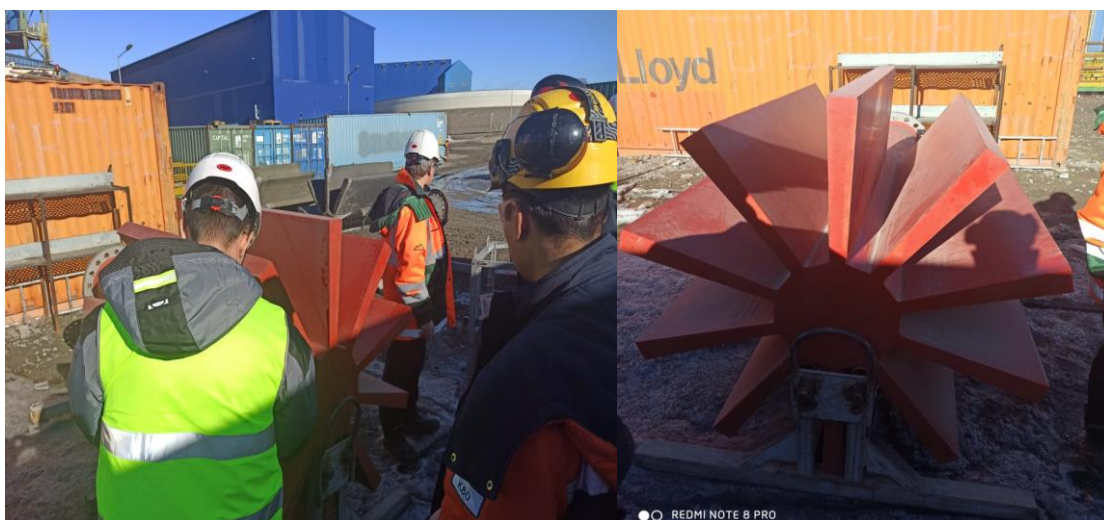
- ИмPELLерлік тозудың пайыздық өлшемі
- Құбыр жолдарының тозуының пайыздық өлшемі
- Болттардың тозуының пайыздық өлшемі
- Статорлық тозудың пайыздық өлшемі

Elasturan 6025, СКУ ПФЛ – 100 полиуретанды қолдану. Оның серпімділік қасиеттерін анықтау. Сынама жүргізу, негізгі техникалық көрсеткіштерін анықтау.

Жоғары сызықтық қысым, жылдамдық, температура кезінде жұмыс істеу кернеулі-деформацияланған күйдің өзгеруіне байланысты жабындардың мерзімінен бұрын істен шығуына әкеледі. Бұл жабын мен импеллер арасындағы жабысқақ қосылыстың бұзылуына әкеледі (қабыршақтану). Сондықтан жабындардың ұзақ жұмыс істеуін қамтамасыз ету үшін жабындардың ресурсын арттыруға бағытталған зерттеулер қажет. Импеллердің полиуретанды жабындарының негізгі қызметі-технологиялық.

Импеллердің біліктері мен қалақшаларына бірнеше жабын технологиялары бар [9]. Конфекционды құрастыру әдісімен қалыңдығы 1 -2 мм парақтар дәйекті түрде қолданылады. Әр қабат импеллер білігінің жейдесіне мұқият оралады. Бұл әдіс өнеркәсіпте кең қолданыс таппады, өйткені ол төмен сапалы, жоғары еңбек сыйымдылығына ие, төмен конфекционды жабысқақтығы бар резеңкелерді пайдалануды шектейді.

Импеллер білігіне жабудың анағұрлым жетілдірілген әдісі-спиральды орау әдісі, ол алдыңғы әдістің кемшіліктерін шектейді. Бұл әдіс кез-келген түрдегі жабындарды қолдануға мүмкіндік береді мысалға: резеңке, полиуретан. Бұл әдістің мәні полимердің экструдталған ыстық таспасын қалақшаларға немесе біліктің алдыңғы қабатына жағу. Қолданылған таспа жоғары қысыммен біліктің бетіне бұрышта орналасқан арнайы роликпен мұқият оралады. Бұл жабу әдісінің негізгі кемшілігі - жабдықтың күрделілігі және білікті орталықтандыруға қойылатын жоғары талаптар.



2.3 Сурет – Тестілеуге орнатылатын полиуретанды импеллер.

Полиуретан (PU) әр түрлі маркалы резеңкелі материалды алмастыра алатын (кейбір жағдайларда металдар), тозу мен май-бензинге төзімді, жоғары диэлектрлік қасиеттерге ие, сондай-ақ жоғары қысымда (750 атм дейін жұмыс істеу мүмкіндігі) кең температуралық диапазонда (-60° - дан 140°C -қа дейін) жұмыс істейді. Қазіргі уақытта полиуретандардың ең көп таралған түрі - sku PFL-100, Nic PU - 5 типті полиуретандар, олар басқа түрлерге қатысты жоғары

физикалық және механикалық сипаттамаларға ие және 85 - 90 бірлік Шор қаттылығында анықталады [8].

Физикалық және механикалық қасиеттері мен сипаттамалары бойынша полиуретанды жабындар басқа серпімді материалдармен салыстырғанда қойылатын үлкен талаптарға толығымен сәйкес келеді. Машиналарда полиуретанды жабындарды қолдану олардың ресурстарын бірнеше есе арттырады.

Сонымен қатар, полиуретанның резеңкеге қарағанда гистерезисі аз, бұл оған жоғары сызықтық қысым мен жылдамдықта жұмыс істеуге мүмкіндік береді. Арнайы өңдеу кезінде полиуретанның металмен берік байланысы (адгезиясы) бар [2]. Жақсы физикалық және механикалық қасиеттерге ие, жабын материалдарының көпшілігі ауыр жағдайларға төтеп бермейді және сәтсіздікке ұшырайды. Полиуретанды жабындар барлық беріктік қасиеттерді біріктіреді, бұл оларды заманауи флотациялық машиналарында қолдануға өте ыңғайлы етеді. Импеллердің жалпы көрінісін А-қосымшасынан көре аласыздар.

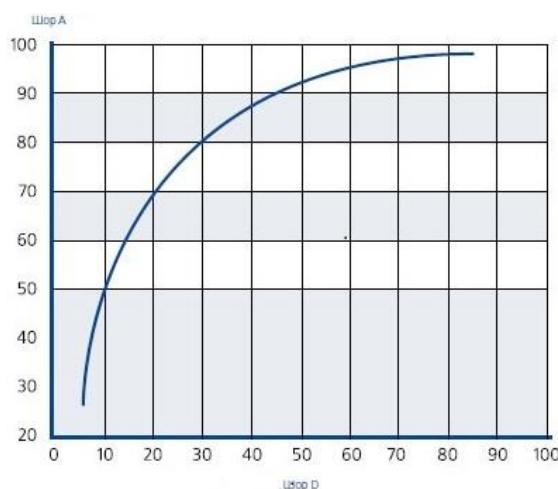
2.1 Полиуретанды жабындардың негізгі қасиеттері мен сипаттамалары

Қазіргі таңда «Полиуретанды» жабындар резеңкелі жабындармен алмастырылуда - бұл олардың техникалық сипаттамалары мен қасиеттерінің жетіктігінің көрінісі. Полиуретанның физика-механикалық қасиеттері қаттылыққа байланысты және температураның өзгеруіне күрт тәуелді [1]. Полиуретандардың қаттылығы 0-ден 100-ге дейінгі әріптермен көрсетіледі

Мысалы, А немесе Б анықтау DIN 53505 сәйкес Шор А және Шор В шкаласы бойынша жүргізіледі. Шордың қаттылығы дегеніміз - материалдың кесілген конус түрінде индентордың сығымдауына серіппелі қысым күшінің әсерінен қарсылығын білдіреді. Сан неғұрлым көп болса, қаттылық соғұрлым жоғары болады. А әрпі жұмсақ жабындардың қаттылығын бағалау үшін қолданылады, ал В әрпі керсінше қалың жабындардың қаттылығын бағалау үшін қолданылады және аймақтар қиылысады. Айналымы құю әдісімен алынған жабындардың қаттылық диапазоны А шоры бойынша 60-95 бірліктен және В шоры бойынша 60 бірлікке дейінгі аралықта алынады.

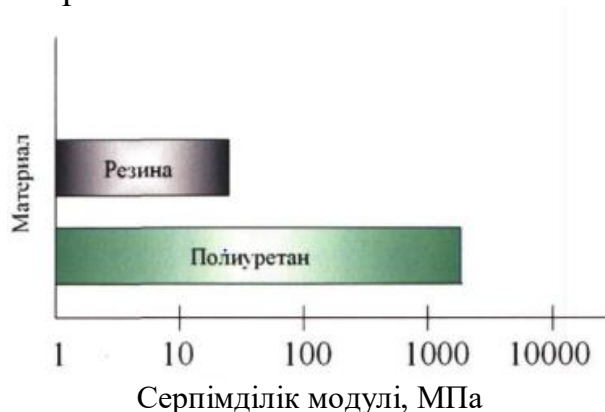
Байланыс аймағындағы жабынның қаттылығы қоршаған ортаның температурасына және жабынның жылулық процестеріне байланысты. Полимерлі жабынның ішкі қызуы тұтқыр үйкеліс күштерінің салдарынан пайда болады[7]. Полимерлі жабынның ішіндегі жылулық процесс үш түрлі факторлар тобына байланысты: қаттылық, физикалық және механикалық сипаттамалар және жабынның қалыңдығы; біліктің диаметрі; жұмыс режимдері (сызықтық қысым, жұмыс жылдамдығы және т.б.) [10]. Температураның жоғарылауымен жабынның қаттылығы төмендейді. Бұл

байланыс аймағының ұлғаюына, сондай-ақ қысым қысымының төмендеуіне әкеледі.



2.4 Сурет - Шор А және О қаттылық шкалаларының өзара тәуелділігі

Полиуретанның серпімділік модулі оның қаттылығына байланысты маңызды шама болып табылады. Серпімділік модулі $[E]$ - материал үшін тұрақты мән болып табылмайды, ол жүктеме сипатына, әсер ету жиілігіне және температураға байланысты, ол әдетте 100% және 300% созылған кезде бағаланады. Көптеген полимерлі материалдардың серпімділік модульдері екі топқа жіктеледі: статикалық және динамикалық. Жүктеменің жоғарылауынан серпімділік модулінің ұлғаю құбылысын, әдетте серпімділіктің динамикалық модулі деп атаймыз. Полиуретан мен резеңке серпімділік модульдерінің диапазоны 2.4-суретте көрсетілген.



2.5 Сурет - Полиуретанды және резеңкелі материал жабынының серпімділік модульдерінің ауқымы

Динамикалық модуль ақпараттың екі түрін алуға мүмкіндік береді: полимерлердің маңызды механикалық (деформациялық) қасиеттері туралы және полимердің құрылымы, құрамы және жағдайы туралы ақпаратты береді. Сонымен қатар, бұл полимерлердің физика-механикалық қасиеттерінің

маңызды кешенін анықтайтын релакциялық процестерді зерттеуге мүмкіндігі жоғары.

Релаксация деп - көшу жүйесінің термодинамикалық тепе-теңдік жағдайына ауысуын айтады. Полимерлердегі термодинамикалық тепе-теңдік күйіне көшу процестері молекулалық қозғалыстың әртүрлі түрлеріне байланысты жүзеге асырылады. Молекулалық қозғалыстың әрбір түрі белгілі бір релаксация процесіне сәйкес келеді, ол релаксация уақытымен сипатталады [10-11].

Бұл теория нақты денелердің серпімділік шегін сипаттау тәсілдерінің бірі болып табылатын бірқатар модельдік жүйелерді талдау үшін қолданылады, ең көп тарағандары Максвелл, Кельвин-Фойхт моделі және сызықтық стандартты дененің реологиялық моделі (Зинер моделі) [10-11]. Полиуретанның тығыздығы $1,1 - 1,23 \text{ г/см}^3$ аралығында болады. Жылу өткізгіштік $[\text{Вт/м-К}]$ қаттылыққа байланысты өзгереді, жұмсақ материалдар үшін $0,19$ - дан қатты материалдар үшін $0,25$ - ке дейін. Импеллер білігінің жабындары агрессивті ортада жұмыс істейді және полиуретандардың химиялық тұрақтылығы сияқты маңызды сипаттамасы көбінесе жабынның қызмет ету мерзімін де, дайын өнімнің сапасын да анықтайды. Полиуретанды жабындар тозуға жақсы төзімді, бұл олардың ұзақ жұмыс істеуі үшін өте маңызды. Тозуға төзімділік сынақтары ГОСТ сәйкес жүргізіледі және қажу кезінде көлем жоғалуы есебінен анықталады: жұмсақ сорттар үшін $30-35 \text{ мм}$ және қатты сорттар үшін $20-30 \text{ мм}$.

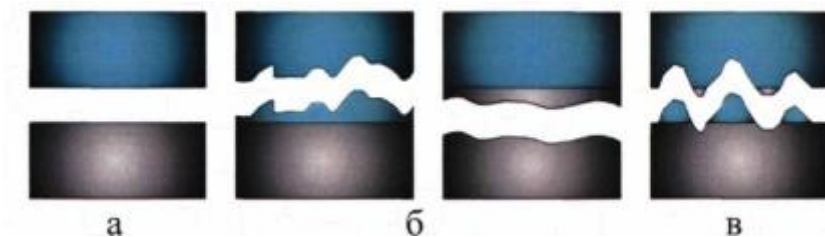
2.2 Жабындардың техникалық жай-күйінің құрылымдық параметрлері

Ақтоғай кәсіпорнындағы жабдықтарға техникалық қызмет көрсету мен жөндеу жұмыстарын жоспарлау бөлімінің қызметкерлерінің, сондай-ақ тау-кен байыту, металлургия және химия өнеркәсібін технологиялармен қамтамасыз етудің әлемдік көшбасшы «FLSmith» компаниясы осы полиуретанды жабындарды дайындау мен қолдану және флотациялық машиналарды пайдалану кезінде кездесетін қиындықтар туралы толық түсінік бере алады. Жабдықты пайдалану жөніндегі мәліметтер жөндеуді есепке алу кестесіне, пайдалану журналына еңгізіледі [3].

Флотациялық машиналардың жиі жоспарлы жөндеу жұмыстарын қажет етуі мен оның негізгі буындарының көптеу ауыстырылуы, мысал келтірсек, зерттеу объектісі Импеллер деп алайық, ондағы ең көп кездесетін ақау-бұл оның сыртқы жабынының адгезияға қарсыласуынан тез тозуы. Жабысқақ қосылыстың бұзылуының бірнеше түрі бар.

Жойылу түрлері келесі топтарға жіктеледі: Адгезиялық бұзылу тікелей фазалық шекараның бойымен жүреді (2.6-сурет(а)). Бірлескен бұзылу фазалардың (шекара қабаты) немесе жабынның қалыңдығына жақын жерде пайда болуы мүмкін (2.6-сурет(б)). Жабынның деформация жылдамдығына

байланысты бұзылу сипаты өзгереді. Деформация жылдамдығының жоғарылауымен бұзылудың когезиялық сипаты аралас сипатқа ауыстырылады.



2.6 Сурет - а-жабысқақ (адгезионды), б – біріккен (когезионды), в-аралас

Діріл параметрлерінің жоғарылауы түйіндерге, флотамашиналардың механикалық жүйелеріндегі жүктемелердің көбеюіне, сондай-ақ өндірілетін өнім сапасының нашарлауына әкеледі. Осылайша, жабынды импеллерден тазарту мәселесі өзекті болып табылады, бұл импеллер қалақшалары мен білігінің осы жұмыс жағдайлары үшін, оның сыртқы жабынның физикалық және механикалық қасиеттері, оның геометриялық өлшемдері дұрыс таңдалмағандығына байланысты. Бұл байланыс аймағында болып жатқан процестерді зерттеудің төмен деңгейіне байланысты. Жабынның геометриялық өлшемдерінің және оның физикалық-механикалық сипаттамаларының әртүрлі жүктеме мен жылдамдық режимдеріндегі деформацияға әсері, қалыпты және тангенс кернеулерін жабын қалыңдығына бөлу сияқты мәселелер терең зерттеуді қажет етеді.

Қазіргі өндірісте жабдықтың апаттық уақытын азайту мәселесі өткір дәрежеде тұр. Жоспарлы-алдын ала жөндеу жұмысы кезіндегі уақытты азайту мәселесінде бірінші орынға техникалық диагностика қызметі қойылады [16]. Қарастырылған ақауларды, әсіресе қабыршақтануды, ерте сатысында анықтау туралы мәселе туындайды.



2.7 Сурет - Резеңкелі жабынды импеллердің тозуы

2.3 Беткі қабаттардың діріл белсенділігі мен кернеулі – деформацияланған жағдайы кезіндегі диагностикалық параметрлерді талдау.

Статикалық және динамикалық жүктеме кезінде полимерлі жабындардың кернеулі-деформацияланған күйін (КДК) зерттеу-өзекті мәселе. Әсіресе, жабынның беріктігін арттыру және ФМ бөліктерін жаңарту кезінде тиімділігін арттыру мәселесі белен алуда. Полимерлі жабындар қазіргі заманғы флотациялық машиналардың механикалық бөлігінде және басқа бөліктерінде маңызды рөл атқарады және көбінесе дайын өнімнің сапасын анықтайды. Жабындар жоғары сызықтық қысым мен жылдамдық кезінде жұмыс істейді және циклдік түрде жүктеледі. Жабындардың (КДК) процестерін зерттеу олардың тиімділігін арттыруға және ұзақ қызмет ету мерзімін арттыруға мүмкіндік береді. Полимерлік жабындарда маңызды рөл атқаратын серпімділік теориясының міндеттерін көптеген ғалымдар байланыс механикасы аясында қарастырды.

Байланыстың өзара әрекеттесуінің классикалық механикасының негізін қалаушы Г. Герц 1882 жылы екі серпімді беті қисық денелер арасындағы байланыс мәселесін шешті. Бір ғасырдан кейін Джонсон [17], Кендалл және Роберт [18] жабысқақ байланыс үшін ұқсас шешім тапты. Жиырмасыншы ғасырдың ортасында Боуден мен Тейбор [19] байланысатын денелердің бетінің кедір-бұдырлығын есепке алудың маңыздылығын атап өтті. Гринвуд пен Виллямсон 1966 жылы және Перссон 2002 жылы жуықтаудағы өрескел беттердің нақты байланыс аймағы қалыпты күшке пропорционал, ал жеке микроконтактінің қысымы мен мөлшері жүктемеге аздап тәуелді екенін дәлелдеді [11, 12].

Біліктерді қаптау үшін қолданылатын полиуретандар мен резеңкелер бұл физикалық қасиеттері белгілі құрылымдық материалдардан сапалы ерекшеленетін полиөлшемді материалдар. Деформацияланған кезде бұл эластомерлер келесі қасиеттерді ие: серпімді аймақта үлкен деформацияны сезіну қабілеті; төмен көлемді сығылу және жылжу кезінде үлкен икемділік; механикалық сипаттамалардың температураға, жылу жылдамдығына, энергияның әсер ету және диссипация құбылыстарына тәуелділігі; гистерезис. Көбінесе эластомерлі жабындардың сенімділігі мен беріктігі олардың кернеулі-деформацияланған күйімен анықталады. Серпімді және тұтқыр серпімді денелердің кернеулі-деформацияланған күйі туралы сұрақтар монографияларда [5,7], диссертацияда [9] қарастырылады.

И. Н.Ефимов флотациялық машиналарға қатысты қаптама қабатының деформация процестерін зерттеуге үлкен үлес қосты. Ол біліктердің серпімді қабатының (жабынының) деформациясын сипаттау үшін бастапқы және шекаралық шарттары бар жылу тығыздығының дифференциалдық теңдеулер жүйесін ұсынды [7]. Бұл тәсіл жұмыс қабілеттілігіне әсер ететін бірнеше параметрлерді талдауға мүмкіндік береді: сызықтық қысым, қаптаманың қалыңдығы, температура өрісінің біркелкі еместігі және т. б. сыртқы

жүктеменің қалыпты және тангенс компоненттерінің таралуы туралы суреттер алынды. Бұл модельдің кемшіліктері деформация процесі жазықтықта қарастырылатындығын қамтиды. Бұл біліктің ұзындығы бойымен деформациялардың таралуын қарастыруға мүмкіндік бермейді, қаптамадағы деформация процестеріне шекаралық әсерлердің әсері ескерілмейді.

Н. Е. Новиков біліктер диаметрінің, сызықтық қысымның, машина жылдамдығының, резеңке қабатының қаттылығы мен қалыңдығының, температураның және басқа көрсеткіштердің түйісу алаңының көлеміне әсерін зерттеу бойынша көптеген эксперименттер жүргізді. Алайда, монографияда жабындардың кернеулі-деформацияланған күйі туралы мәселелер қарастырылмайды. Машиналардың жылдамдығы, сызықтық қысым және білік жабындары ретінде қолданылатын материалдар өзгерді, соған байланысты жаңа зерттеулер қажет. Г. Гуравдтың зерттеулеріне сәйкес [4] біліктердің сырғуы 4-5% құрайды, 80 кгс/см² қысымда 55 пуссей - Джонстың резеңке жабыны бар. Бұл матаның күйіне байланысты және оның тозуына байланысты артады. Жабынның қаттылығының жоғарылауымен біліктердің сырғуы төмендейді. Байланыс қысымын бөлу функциясы екі максимумға ие болуы мүмкін екендігі көрсетілген.

В. И. Бахшалиев жұмысында [6] роликтің цилиндрлік бетке (тірекке) үйкеліс процесін қарастырды, онда мұз айдынының беткі элементтерінің жергілікті тайғанауын осы элементтердің ұсақтау алаңының шегінде салыстырмалы микро ығысуымен ауыстыру мүмкіндігі туралы гипотеза ұсынылды. 1000 м/мин жылдамдықпен сырғу үйкелісі кезіндегі полимерлі композициялық материалдардың әрекетін зерттеу нәтижелері талқыланатын [7] жұмыста маңызды болып табылады. Сырғудың серпімді денелердің беткі, жер асты кернеулерінің таралуына әсері, сондай-ақ беттік қабат қасиеттерінің кернеулі күйге әсері жұмыста қарастырылды [4].

Жүйенің діріл сипаттамаларын зерттеу үшін Кельвин-Фойт моделі таңдалды. Жүйенің динамикалық сипаттамаларын анықтау үшін ақырлы айырмашылық әдісі қолданылады, ал біліктердің құрылымдық элементтеріні КДК-ын анықтау үшін-ақырлы элементтер әдісі қолданылады. Діріл қарқындылығының өзгеруіне байланысты ФМ жабындарының техникалық жағдайын бақылау жалғыз әдіс болып табылады және оны техникалық диагностика әдістерімен жүзеге асырады.

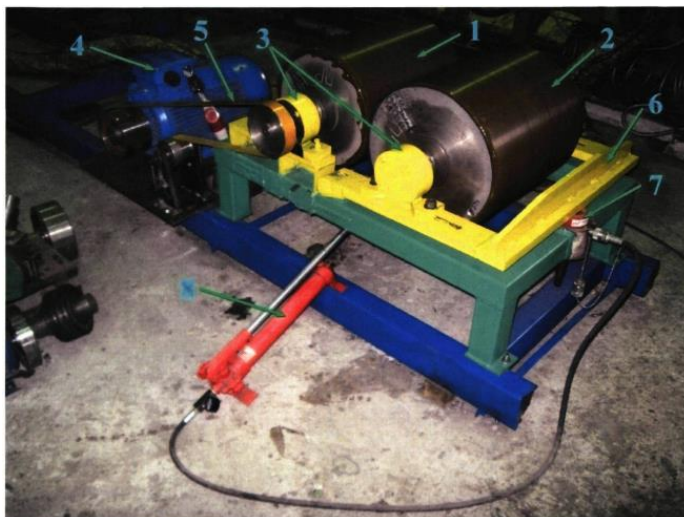
Техникалық диагностика ГОСТ 20911-89 сәйкес объектінің техникалық жағдайын анықтау. Техникалық диагностикалау міндеттеріне: техникалық жай-күйді бақылау; орын іздеу және істен шығу себептерін анықтау; техникалық жай-күйді болжау жатады. Импеллер біліктері тербелістерінің қарқындылық шамасы тұрақты емес, бірақ пайдалану процесінде өзгереді [19]. Діріл біліктердің, жылжымалы мойынтіректердің, муфталардың және басқа компоненттердің техникалық жағдайын бағалаудың диагностикалық белгісі болып табылады. ФМ элементтерін диагностикалау әртүрлі әдістермен жүргізілуі мүмкін. Діріл диагностикасының әдістері, сондай-ақ Фурье жылдам түрленуімен спектрлік талдау әдістері еңбектерінде көрсетілген.

3 Білік жабындарын зерттейтін сынақтау стендінің параметрлерін негіздеу

Стенд параметрлерін негіздеу кезінде сынау стендінің динамикалық сипаттамалары мен импеллер білігінің нақты конструкциялары бірдей болуы керек деген болжам қабылданады. Бөлімде стенд параметрлері және оның статикалық және динамикалық сипаттамалары анықталады.

3.1 Сынақ стендінің құрылымын күштік талдау, стендтің қолданылу аймағы.

Қазіргі таңда Ақтоғай тау-кен байыту комбинатындағы флотамашиналарда резеңке және түрлі синтетикалық эластомерлік материалды жабындар қолданылу үстінде. Бұл диссертациялық жұмыста жабынның жаңа түріне көшу мақсатында “Полиуретандық” материалдың негізгі параметрлерін анықтау үшін, флотациялық машинаның негізгі элементі “Импеллердің” білігін сынамаға аламыз. Жабынның жағылу сипаты мен мақсты сан аулан, егерде біліктерде коррозияға қарсылық есебінде жағылса, ал импеллер қалақшалары үшін технологиялық мәнге ие болады.. Импеллер білігінің жабындарын зерттеу үшін "FLSmith" тау-кен байыту және жабдықтар өндірумен айналысатын трансұлттық компаниясының бас механигінің қолдауымен арнайы стендта тәжірбиелік жұмыстар жасалды.



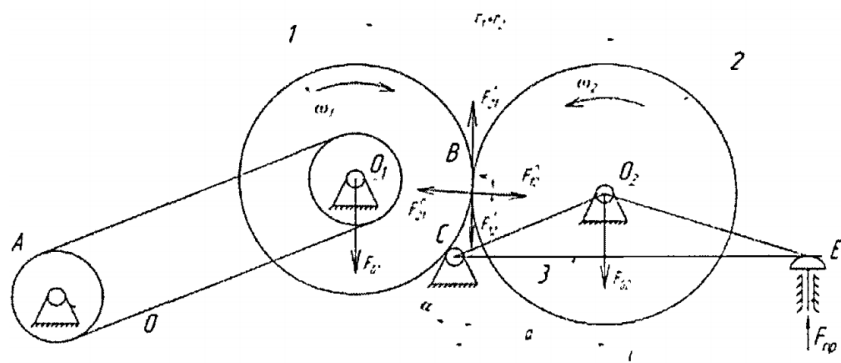
1-жетекші білігі; 2- еруші білік; 3-мойынтірек тіректері; 4-электр қозғалтқышы АМХ16088 ГОСТ Р51689-2000; 5-белдікті беріліс; 6-рычаг жүйесі; 7-гидроцилиндр; 8 - сорғы НРГ-7004

3 Сурет - Біліктердің полиуретанды жабындарын кешенді зерттеуге арналған сынау стенді

Стенд-бұл жалпы жақтауға орнатылған екі байланыс білігінің жүйесінен құралған. Жетекші білік (1), көмекші (2) білік пен негізгі біліктердің жұмыс

жағдайларын модельдеуге арналған және эксперименттік зерттеулер жүргізу үшін негізгі орнату элементтері болып табылады. Біліктер мойынтірек тораптарына сүйенеді (3). Жиілікті реттейтін (4) электр қозғалтқышы моментті (1) жетек білігіне (5) жалпақ белдікті беріліс арқылы жібереді. (6) интірек жүйесі, (7) гидравликалық цилиндр және (8) сорғы 20-дан 80 кН/м-ге дейінгі диапазонда біліктерді ұстап тұруда сызықтық қысым тудыра алады.

Стенд конструкцияларының жүктемесі қуатты талдау арқылы анықталады. Күштік талдау Ассурдың құрылымдық топтары бойынша жүргізіледі [9]. Стендтің кинематикалық схемасы 3.2 - суретте көрсетілген.



3.1 Сурет - Стендтің құрылымдық схемасы

мұндағы: $F_{пр}$ -гидроцилиндр штокындағы күш; F_{G1} , F_{G2} - тиісінше бірінші және екінші біліктің ауырлық күші; F_{12}^n, F_{21}^n - қысқыш күштің қалыпты құраушысы; F_{12}^t, F_{21}^t -қысқыш күштің тангенциалдық құраушысы; r_1, r_2 -бірінші және екінші цилиндрлердің радиусы; w_1, w_2 -біліктердің айналмалы жылдамдығы. Біз стендті жалпақ бес буынды механизм ретінде қарастырамыз: кіріс 0 айналмалы қозғалыс жасайды; сәйкесінше жетекші білік 1 және 2 жетекті білік; 3 - қысқыш иінтірек; 4 - гидравликалық цилиндр. Сілтемелер 5-сыныптың бес кинематикалық жұбы және 4-сыныптың үш кинематикалық жұбымен өзара байланысты (кинематикалық схемада олар латын алфавитінің әріптерімен белгіленеді).

Стендтің қозғалғыштығын анықтау үшін жалпақ механизм үшін Чебышев формуласын қолданамыз:

$$W = 3 \cdot n - 2 \cdot p_5 - 1 \cdot p_4 = 3 \cdot n - 2 \cdot 5 - 1 \cdot 3 = 2. \quad (3.1)$$

мұндағы, p -сілтемелер саны;

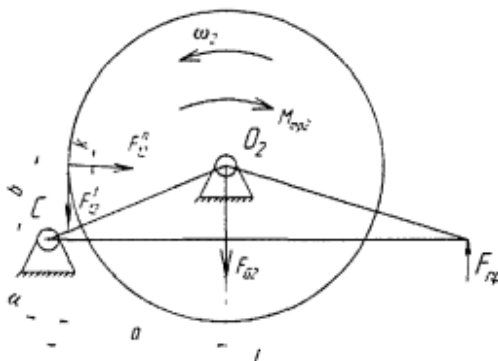
p_5 -5-ші класстағы кинематикалық жұптардың саны;

p_4 - 4-ші класстағы кинематикалық жұптардың саны.

Механизмнің қозғалу дәрежесі қозғалысты белгілеуі керек жетекші байланыстардың санын анықтайды. Стендтің қозғалғыштығы $W=2$ - бұл электр қозғалтқышы және гидравликалық цилиндр.

Механизмді құрылымдық талдаудың келесі кезеңі ондағы құрылымдық топтарды, яғни $W = 0$ шартын қанағаттандыратын кинематикалық тізбектерді таңдау болып табылады.

Стендті күштік талдауға арналған есептік схема 3.2-суретте көрсетілген.



3.2 Сурет - F_{12}^n — анықтауға арналған формула

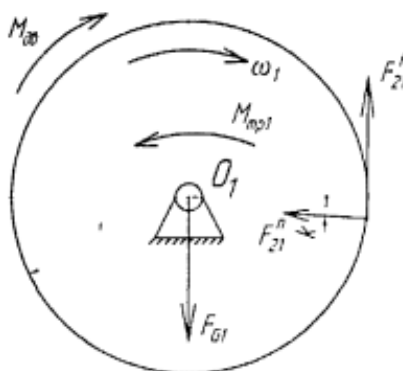
Күш моменттерінің теңдігінен біз F_{12}^n реакциясын табамыз,

$$F_{12}^n = \frac{F_{np}l - F_{G2}a - F_{12}^t b \cdot \sin(\alpha) - M_{np2}}{b \cdot \cos(\alpha)} \quad (3.2)$$

Жетек білігінің тепе-теңдігінен біз F_{12}^t —компонентін анықтаймыз, стендтің жетек білігінің жобалық схемасы 3.4-суретте көрсетілген.

$$F_{12}^t = F_{21}^t = \frac{F_{21}^n k - M_{np1} + M_{дв}}{r_1} \quad (3.3)$$

мұндағы, $M_{дв}$ - қозғалыс моменті, ол келесідей анықталады $M_{дв} = \frac{P\eta}{w_1}$, мұндағы, η — жалпақ белдікті берілістің ПӘК-і, P - жетектің электр қозғалтқышының қуаты.



3.3 Сурет - F_{21}^t анықтауға арналған есептеу схемасы

Үйкеліс моменттерін M_{np1} және M_{np2} есептеуде ескермеуге болады, өйткені қателік шамасы F_{12}^n шамасынан 1% - ке аз.

Олай болса F_{12}^n , жылжымалы үйкеліс коэффициентін ескере отырып анықтаймыз:

$$F_n = F_{12}^n = \frac{F_{np}l - F_{G2}a - \frac{P\eta}{w_1 r_1} b \cdot \sin(\alpha)}{b \cdot \cos \alpha + k - \frac{k \cdot b \cdot \sin(\alpha)}{r_1}} \quad (3.4)$$

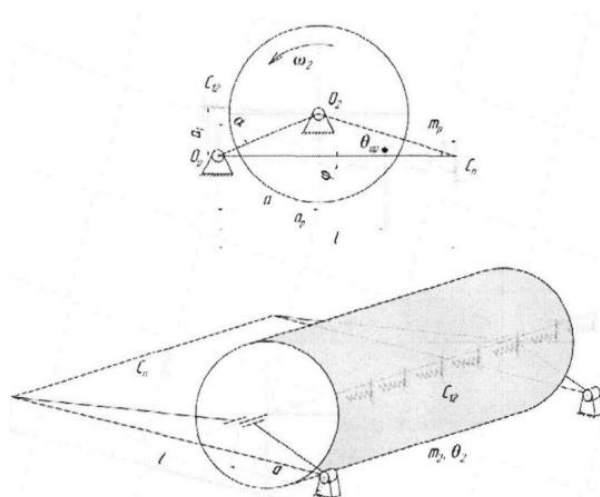
мұндағы, k -жабынның деформациясы кезіндегі гистерезистік шығындарды есепке алатын, тербеліс үйкелісінің коэффициенті; Γ [-] - стэндтің жетек білігінің радиусы.

Байланыс аймағында жабын деформацияланған кезде жылжымалы үйкеліс коэффициенті мына формула бойынша анықталады:

$$k = \frac{F_{np}l - F_{G2}a - \frac{P\eta}{w_1 r_1} b \cdot \sin(\alpha) - F_n b \cdot \cos \alpha}{F_n \left(1 - \frac{b \cdot \sin(\alpha)}{r_1}\right)} \quad (3.5)$$

3.2 Қысқыш біліктің меншікті тербелістерінің жиіліктері

Зерттеу жүргізу кезінде спектрде оған орнатылған жетек білігі бар қысқыш иіктіректің айналмалы тербелістерінің меншікті жиіліктері және қысқыш біліктің үдемелі-айналмалы тербелістерінің меншікті жиіліктері пайда болуы мүмкін. 3.6-суретте көрсетілген есептеу схемасы қысым білігінің айналмалы тербелістерінің меншікті жиілігін қарастырады.



3.4 Сурет - Иіктіректегі жетек білігінің жобалық схемасы

мұнда көрсетілген: w_2 - жетек білігінің айналу жиілігі; m_2 - мойынтіректері бар жетек білігінің массасы; m_p -иітірек массасы; θ_2 - оның масса орталығы арқылы өтетін жетек білігінің инерция моменті; C_{12} - түйіспенің қаттылық коэффициенттері; C_n - гидроцилиндрдің қаттылық коэффициенттері; a, a_p, a_1 - геометриялық өлшемдер.

Тербелістер білігі O_2 өсіне қатысты айналады делік, сондағы жүйенің инерция моменті O_p -өсіне қатысты болады.

$$\theta_{\text{пр}} = \theta_{\text{ор}} + m_p a_p^2 + m_2 a^2, \quad (3.6)$$

мұндағы, $\theta_{\text{ор}}$ -массаның центріне қатысты иіктірек инерциясының жалпы моменті.

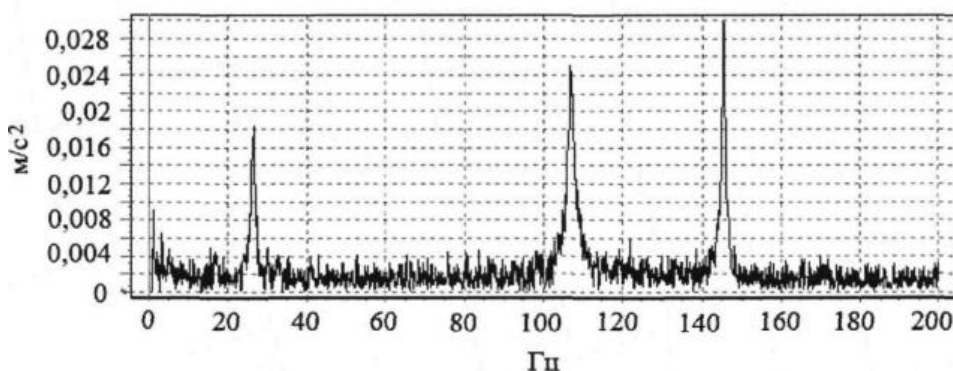
O_p -өсіне қатысты берілген қаттылық:

$$C_{\text{пр}} = C_{12} a_1^2 + C_{\text{п}} l^2 \quad (3.7)$$

Жүйенің меншікті тербелістерінің жиілігі анықталады:

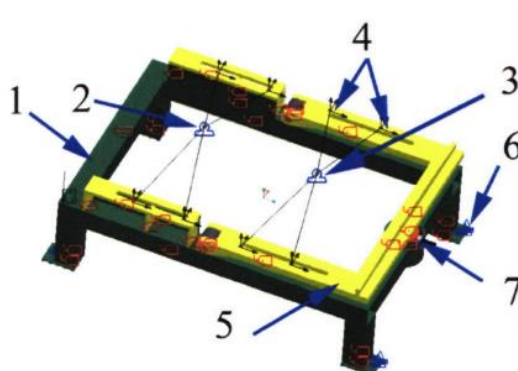
$$\omega_0 = \sqrt{\frac{C_{\text{пр}}}{\theta_{\text{пр}}}} \quad (3.8)$$

Қысқыш иіктіректің қаттылығы тәжірибе жүзінде жиілігі бойынша анықталады $C_{12} = 0$ кезінде біліктің айналмалы тербелістері (17-сурет) көрсетілген. Тербелістер гидравликалық цилиндр тұтқасы мен қысым тұтқасының түйісу орнында соққымен қозғалады.



3.5 Сурет - Иіктіректегі біліктің тербеліс жиіліктерінің спектрі

Иіктіректі басу тұтқасындағы жетек білігінің табиғи жиілігі $f_{\text{оиіктірек}} = 26,6$ Гц, бұл PRO/Engineer-де жақтау моделін модальды талдаумен расталады. Тұтқадағы Раманың және жетек білігінің жобалық схемасы 3.8-суретте көрсетілген: 1 - стендтің жақтауы; 2 - масса центрінің нүктесінде шоғырланған жетек білігінің массасы; 3 - масса центрінің нүктесінде шоғырланған қысқыш біліктің массасы; 4 - біліктерді рамаға бекіту орындары; 5 - қысқыш тұтқасы; 6 - стенд жақтауын негізгі рамаға бекіту тесіктері бойынша бекіту; 7- гидравликалық цилиндр.

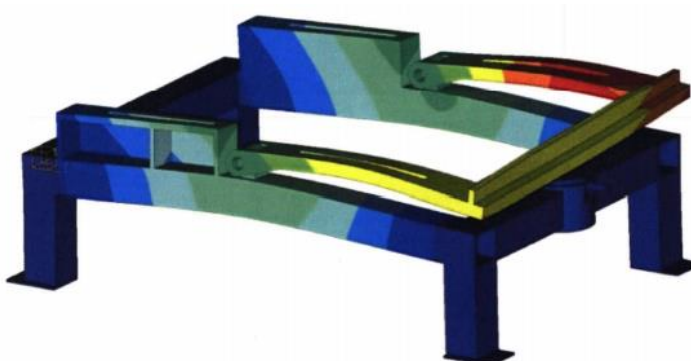


3.6 Сурет - Модальді талдауға арналған қысқыш иіндіректегі Раманың және жетек білігінің есептеу схемасы

Иіндіректегі негізгі білік пен раманың өзіндік тербелістерінің жиіліктері 3.1-кестеде келтірілген, стенд жақтауының және қысқыш тұтқаның тербелістерінің пішіні 3.9-суретте көрсетілген.

3.1 Кесте - Иіндіректегі негізгі білік пен раманың өзіндік тербелістерінің жиіліктері

Стенд жақтауының және қысқыш тұтқасының табиғи тербеліс жиілігінің нөмірі	Жиілік, Гц
1	27
2	47
3	78
4	88
5	113
6	129
7	148



3.7 Сурет - Раманың тербелісі мен стенд иінтрегiнiң пішіні

Иінтірек моделінің табиғи тербеліс жиілігі 27 Гц құрайды. Есептеу және эксперименттік әдіспен алынған иінтіректің өзіндік жиілігінің қателігі 1,5% құрайды. 16-18 тәуелділіктері бойынша анықталған қысқыштың қаттылығы 5,77-105 Н/м құрады.

Иінтіркегі негізгі біліктің күштік, кинематикалық және параметрлік әсерінен айналмалы тербелістерін қарастырамыз. Иінтіркегі негізгі біліктің өзіндік тербеліс жиілігін есептеуге арналған бастапқы мәліметтер 3.2-кестеде келтірілген, сонымен қатар әр түрлі өзгермелі мәнді есептеу деректері 3.3-кестеде келтірілген.

3.2 Кесте - Есептеу үшін бастапқы деректер

Аталуы	Белгіленуі	Шамасы
Негізгі біліктің салмағы, кг	m_2	130
Геометриялық өлшемдері, м: 3.8-сурет бойынша	h	0,12
	l	0,59
	a	0,25
	a_1	0,12
	a_p	0,401
Генератордың ұзындығы, м	B	0,48
Біліктің теңгерімсіздігі, м	B	0,005

3.3 Кесте - Есептеу үшін қолданылатын өзгермелі мәндер

Аталуы	Белгіленуі	Мәні
Байланыс қаттылығының коэффициенті, Н/м	C_{12}	3.9-сурет
Біліктің айналу жиілігі, айн/мин	n_2	100,200..1500
Біліктің айналмалы айналу жиілігі, рад/с	w_2	10,46;20,9...75

Стенд тек резонанстан алыс жұмыс істейді, сондықтан стендтің динамикалық сипаттамаларын талдау кезінде b_{12} - біліктерінің серпімсіз байланыс кедергісінің мәнін елемеуге болады. Иінтіркегі қозғалмалы біліктің айналмалы тербелістерін сипаттайтын дифференциалдық теңдеулер тербелістердің тепе-теңсіз массалардың күштік қозуы кезінде пайда болады:

$$\theta_2 \varphi + \left(\frac{b_{np} l^2}{a^2 + a_1^2} + \frac{b_{12} h^2}{a^2 + a_1^2} \right) \varphi + \left(\frac{C_{np} l^2}{a^2 + a_1^2} + \frac{C_{12} h^2}{a^2 + a_1^2} \right) \varphi = 2DBw_2^2 \cos \omega_2 t, \quad (3.9)$$

D-біліктің алдыңғы және жетек жақтарынан бөлек теңгерімсіздігі,
B-біліктің жұмыс ұзындығы.

$$\frac{b_{np}l^2}{a^2+a_1^2} + \frac{b_{12}h^2}{a^2+a_1^2} \approx \text{және} \frac{c_{np}l^2}{a^2+a_1^2} + \frac{c_{12}h^2}{a^2+a_1^2} = C \text{ деп белгілеп,}$$

дифференциалдық теңдеуді келесі түрде аламыз:

$$\Theta \ddot{\varphi} + b \dot{\varphi} + C \varphi = v \omega_2^2 \cos \omega_2 t \quad (3.10)$$

Теңдеудің барлық мүшелерін Θ_2 -ге бөліп, белгілейміз:

$$\frac{b}{\Theta_2} = 2\varepsilon \quad \frac{C}{\Theta_2} = \omega_0^2, \quad (3.11)$$

мұндағы ω_0 -жүйенің еркін тербелістерінің жиілігі;
е-демпфирлеу коэффициенті.

Түрлендіруден кейін біз келесіні аламыз:

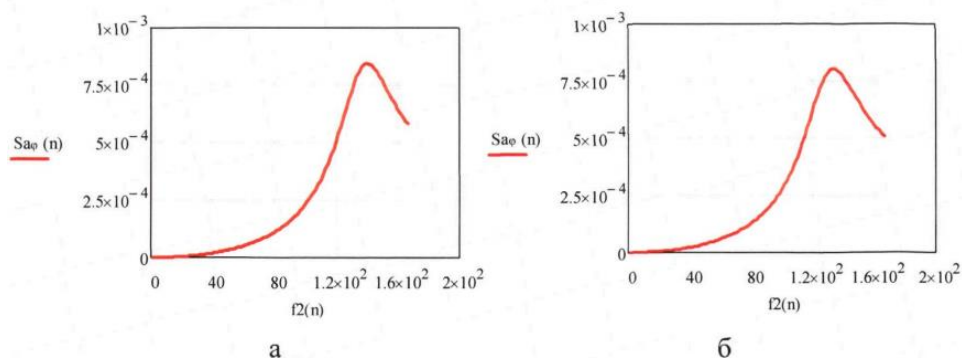
$$\ddot{\varphi} + 2\varepsilon \dot{\varphi} + \omega_0^2 \varphi = v \omega_2^2 \cos \omega_2 t. \quad (3.12)$$

Біртекті теңдеудің жеке шешімі (12) белгілі және гармоникалық коэффициенттер әдісімен шешіледі.

Иінтіректегі негізгі біліктің айналмалы тербелістерінің амплитудасы келесі формула бойынша анықталады:

$$S_{a\varphi} = v \frac{\omega_2^2}{\sqrt{(\omega_0^2 - \omega_2^2)^2 + (2\varepsilon \omega_2)^2}}; \quad (3.13)$$

$Q = 20$ кН/м сызықтық қысымдағы тербелістердің күштік өршуі кезінде иінтіректегі қозғалмалы біліктің айналмалы тербелістерінің амплитудалық-жиіліктік сипаттамалары 3.10 (а)-суретте көрсетілген, сызықтық қысымы $q = 80$ кН / м кезіндегі сипаттамалар 3.10 (б)-суретте көрсетілген.



3.8 Сурет - Күштің өршуі кезінде иінтіректегі негізгі білігінің айналмалы тербелістерінің амплитудалық-жиіліктік сипаттамалары:

а- $q=20$ кН/м кезінде, б- $q=80$ кН/м кезінде

Иінтіректегі негізгі біліктің табиғи айналмалы тербелістерінің жиілігі 20-дан 80 кН/м-ге дейінгі сызықтық қысым 138-ден 127 Гц-ке дейінгі диапазонда болады. Кинематикалық қозу кезінде теңдеу келесідей болады:

$$\ddot{\varphi} + 2\delta_{\varphi}\dot{\varphi} + \omega_0^2\varphi = \lambda_{\varphi 1}\Delta r_i \cos i\omega_2 t, \quad (3.14)$$

мұндағы $\lambda_{\varphi 1}$ – біліктің өзіндік жартылай жиілігі, $\lambda_{\varphi 1} = C_{12}B/m_2$
Теңдеудің шешімін (5.5) келесі түрде іздейміз:

$$\varphi = S_{a\varphi i} \cos(\omega_2 t + \beta_{\varphi}), \quad (3.15)$$

мұндағы, β_{φ} -біліктің айналмалы тербелістерінің фазалық ығысу бұрышы.

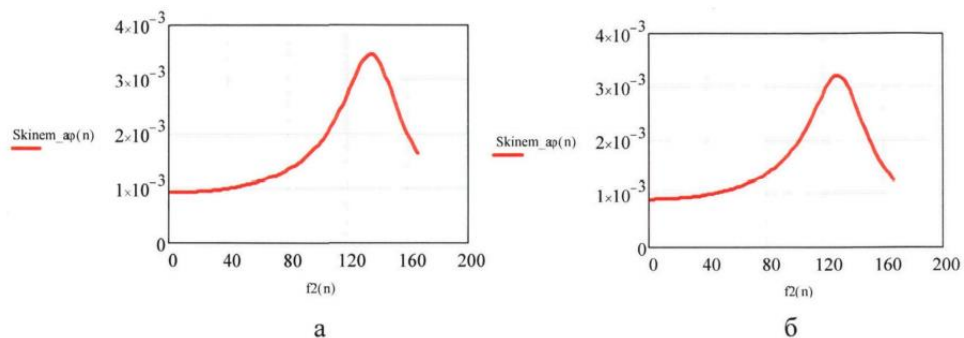
Теңдеуді шеше отырып $S_{a\varphi i}$ -ға қатысты (5.5), біз аламыз:

$$S_{a\varphi i} = \frac{\Delta r_i k_c}{\sqrt{(1-i^2\eta_{\varphi}^2)^2 + i^2\eta_{\varphi}^2/\square_{\varphi p}^2}}, \quad (3.16)$$

мұндағы, $k_c = \frac{C_{12}B}{2C+C_{12}B-\frac{m_2G}{\sqrt{a^2+a_1^2\cdot\cos\alpha}}}$ - таратылған байланыс қаттылығының

жалпы қаттылықтың орташа мәніне қатынасы, i - білік радиусының номиналды мәннен ауытқу гармоникасының нөмірі $i = (1, 2, 3, \dots, k)$. $i = 1$ -біліктің соғуы, $i = 2$ -сопақша, ал $i > 3$ - біліктің жұмыс бетінің біркелкісіздігі; η_{φ}^2 – жиілік қатынасы, $\square_{\varphi p}^2$ –тербелістердің динамикалық күшею коэффициенті.

$Q = 20$ кН/м сызықтық қысым кезінде тербелістердің кинематикалық өршуі кезінде тұтқадағы қозғалмалы біліктің айналмалы тербелістерінің амплитудалық-жиіліктік сипаттамалары 21 (а)-суретте көрсетілген, сызықтық қысым кезінде $q = 80$ кН / м 21(б) – суретте көрсетілген.



3.9 Сурет - Кинематикалық өршу кезінде иінтіректегі негізгі біліктің айналмалы тербелістерінің амплитудалы-жиіліктік сипаттамалары: а- $q=20$ кН / м кезінде, б- $q=80$ кН/м кезінде.

Иінтіректегі негізгі біліктің табиғи айналмалы тербелістерінің жиілігі

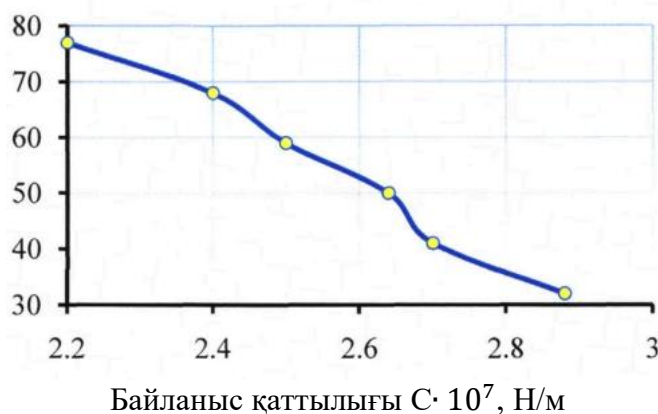
20-дан 80 кН/м-ге дейінгі сызықтық қысым кезінде 138-ден 127 Гц-ке дейінгі диапазонда болады.

C_{12} -байланысының қаттылығының мезгілімен өзгерісі келесі формула бойынша анықталады:

$$C_{12} = C_{const} + \Delta C_{12}, \quad (3.17)$$

мұндағы, C_{const} -қаттылықтың тұрақты құрамдас бөлігі, ΔC_{12} -дірілдің қозу көзі болып табылатын қаттылықтың мезгілмен өзгертін бөлігі. Эксперименттік зерттеулер барысында қысқыш күшке байланысты C_{12} –түйіспесінің қаттылық коэффициенттері алынды (3.12-сурет). Параметрлік өршу кезінде иіңтіректегі қозғалмалы біліктің айналмалы тербелістерін сипаттайтын дифференциалдық тендеу:

$$\ddot{\varphi} + 2\delta_{\varphi}\dot{\varphi} + C_{12}\varphi = F\varphi, \quad (3.18)$$



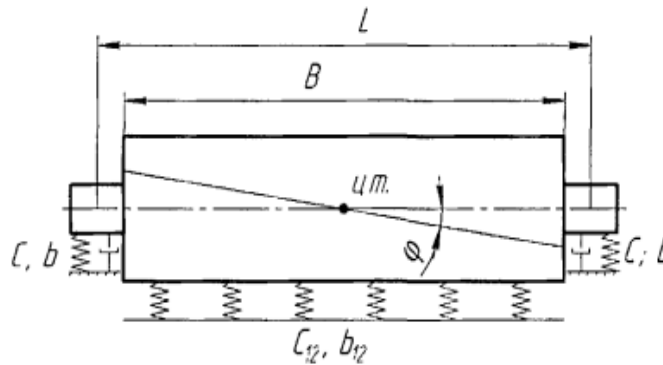
3.10 Сурет - Біліктердің қысу күшімен байланыс қаттылығының өзгеру графигі

Иіңтіректегі негізгі біліктің өзіндік айналмалы тербелістерінің жиілігі 20-дан 80 кН/м-ге дейінгі, ал сызықтық қысым кезінде 138-ден 127 Гц-ке дейінгі диапазонда болады. Дірілдің параметрлік өршуі негізінде жылдамдықтың гармоникасы пайда болады. Сызықты емес жүйелер үшін параметрлік тербелістер спектрде гармоникалық қатардың пайда болуымен анықталады[5].

Айналмалы тербелістер

Осы тармақта тербеліс мойыңтіректерінің маятникті тербелістері және біркелкі бөлінбеген түйісу қаттылығынан туындаған үдемелі-бұрылмалы тербелістері қарастырылады. Айналмалы тербелістерді есептеу схемасы келесі түрде берілген 3.11 Сурет.

Стендтің қозғалмалы білігі-симметриялы білік. Симметриялық біліктерде қаттылық коэффициенттері және серпімді демпферлік тіректердің серпімсіз кедергісі бірдей.



3.11 Сурет - Айналмалы тербелістерді есептеу схемасы

Тербеліс мойынтіректерінің маятниктік тербелістерінің табиғи жиілігі [6]:

$$f_{0м} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{2g}{\Delta}}, \quad (3.19)$$

мұндағы $g = 9,81 \text{ м / с}^2$ - еркін құлаудың үдеуі, Δ – мойынтіректегі радиалды саңылау. Мойынтірек үшін 407 ГОСТ 8338-75 радиалды саңылау мәні $\Delta = 18 \text{ мкм}$.

$$f_{0м} = \frac{1}{2 \cdot 3,14} \sqrt{\frac{2 \cdot 9,81}{10 \cdot 10^{-6}}} = 166 \text{ Гц} \quad (3.20)$$

Тұтқадағы негізгі біліктің маятниктік тербелістерінің амплитудасы келесі формула бойынша анықталады:

$$S_{ам} = \frac{e\eta_m^2}{\sqrt{(1-\eta_m^2)^2 + \eta_m^2/\square_{\varphi p}^2}}; \quad (21)$$

мұндағы, $\eta_m^2 = \omega_2/\omega_0$ жиілік қатынасы, $\square_{мр}$ - маятниктік резонанс кезіндегі тербелістердің динамикалық күшейту коэффициенті, $\square_{мр} = 20$, e - теңгерімсіздік.

Иінтіректегі байланыс қаттылығы таратылған қуаттың өршуі кезінде негізгі біліктің тербелістерін сипаттайтын Дифференциалдық теңдеу:

$$\ddot{\varphi} + \delta_{\varphi} \dot{\varphi} + \omega_{0\varphi}^2 \varphi = v\omega_2^2 \cos\omega_2 t, \quad (3.22)$$

мұндағы, δ_{φ} - демпфирлеу коэффициенті,

$$2\delta_{\varphi} = \delta_{12} \frac{B^3}{12\theta} \quad (3.23)$$

Симметриялық білік үшін меншікті жиіліктер ішінара жиіліктерге тең

$$\omega_{0\varphi}^2 = \lambda_{\varphi}^2; \quad (3.24)$$

Біліктің аудармалы және айналмалы тербелістерінің парциалды жиіліктері тең:

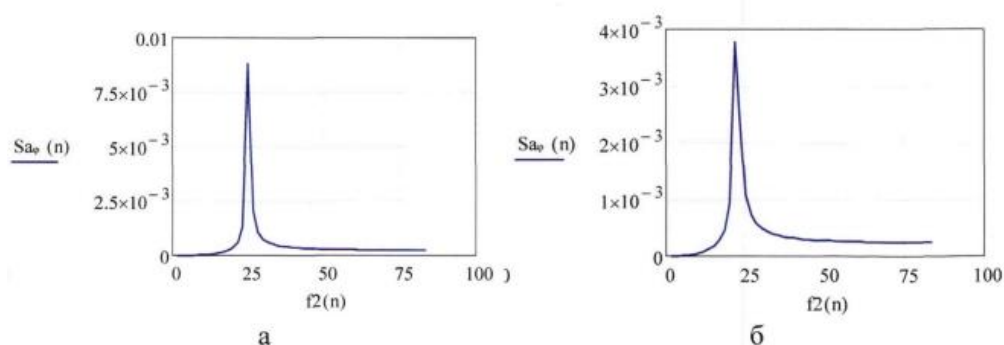
$$\lambda_{\varphi}^2 = (C_{12} \frac{B^3}{12} - \frac{m_2 g L^2}{\sqrt{a^2 + a_1^2}}) / \theta_2, \quad (3.25)$$

Біліктің айналмалы тербелістерінің амплитудасы

S_{ax} және $S_{a\varphi}$ -ға қатысты (6.6) теңдеулерді шешудің келесі жолын аламыз:

$$S_{a\varphi} = \frac{v\eta_{\varphi}^2}{\sqrt{(1-\eta_{\varphi}^2)^2 + \eta_{\varphi}^2 / \square_{\varphi p}^2}}; \quad (3.26)$$

20-дан 80 кН/м-ге дейінгі сызықтық қысым кезінде бөлінген байланыс қаттылығынан иіңтіректегі негізгі біліктің аударма-бұрылыс тербелістерінің амплитудалық-жиіліктік сипаттамалары 25-суретте көрсетілген.



3.12 Сурет - Түйісу қаттылығынан бөлінген кездегі иіңтіректегі жетек білігінің ілгерілемелі-бұрылмалы тербелістерінің амплитудалық-жиіліктік сипаттамалары: А- $q=20$ кН / м кезінде, б- $q=80$ кН/м кезінде

Иіңтіректегі жетек білігінің өзіндік айналмалы тербелістерінің жиілігі 20-дан 80 кН/м-ге дейін, ал сызықтық қысым кезінде 25-тен 22 Гц аралығында болады.

4 Флотациялық машиналардағы импеллер білігінің полиуретанды жабындарының кернеулі-деформацияланған күйін компьютерлік модельдеу

Тау-кен өнеркәсібін дамытудың қазіргі заманғы үрдістері флотациялық машиналардың өнімділігін арттыруға бағытталған. Бұл флотациялық машинаның технологиялық параметрлерінің өзгеруіне байланысты. Импеллер жабындарын өндірушілердің алдында тұрған маңызды мәселелердің бірі-полимерлі жабын материалдарының металл білікке адгезиясын арттыру. Адгезияны арттыруға бірнеше факторларды жетілдіру жолымен қол жеткізуге болады: жабындарды жағу технологиясы (газды термиялық өңдеу және т.б.), оларды пайдалану жағдайларын (жүктеме, жылдамдық, температура және т.б.) ескере отырып, жабындардың кернеулі-деформацияланған жай-күйін (КДК) есептеумен негізделген жабындардың ұтымды параметрлері [4].

Аналитикалық есептеу әдістері өте ауыр және бірқатар болжамдарға ие, сондықтан олар бір уақытта бірнеше факторларды ескеруге мүмкіндік бермейді: жабындардың, жүктемелердің, температураның сызықты емес серпімді әрекеті және есептеу дәлдігі төмен. Қымбат кешенді эксперименттік әдістер эксперименттік мәліметтерді жүргізуге және өңдеуге көп уақыт алады, арнайы өлшеу жабдықтарын қажет етеді, кейде қажетті деректерді алуға мүмкіндік бермейді және әдетте есептеу әдістерін растау үшін қолданылады.

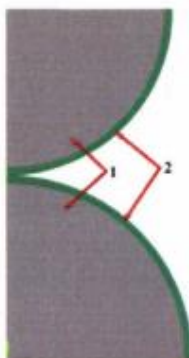
Полиуретанды жабынды импеллер білігін ең толық зерттеу тек сандық есептеу әдістерін, атап айтқанда СЭӨ қолдану арқылы мүмкін болады, бұл оның геометриясының күрделілігін, шекаралық жағдайларды, жүктемелерді, материалдардың сызықтық емес қасиеттерін және басқа параметрлерді ескеруге мүмкіндік береді [6].

Бөлімде импеллер білігінің эластомерлі жабынмен жанасу аймағында өтетін процестер мен заңдылықтарды зерттеудің негізгі тәсілі, сондай-ақ олардың кернеулі-деформацияланған күйін зерттеу сынды мәселелері шешіледі. Түйісу аймағында (КДК) процестерін модельдеуді келесі міндеттерді шешу арқылы қарастырады:

- а. Статикадағы нақты күш әсері кезінде өсаралық қашықтықты анықтау;
- б. Қалыпты және тангенсті кернеулерді, түйісу аймағындағы деформация шамасын анықтау;
- с. Қалыңдығы өзгерген кезде жабындағы кернеулі-деформацияланған күйді зерттеу.
- д. Қалыпты және жанама кернеулерді, технологиялық көлбеу геометриясының өзгеруімен білік шеттеріндегі жабынның деформация шамасын анықтау;
- е. Жабын материалының геометриялық өлшемдерін, күш әсерін және физикалық-механикалық қасиеттерін ескере отырып, жабындағы (КДК) анықтауды бағдарламалық іске асыру.

Біз екі жабыны бар цилиндрдің контактісін модельдеуді Ansys Элементарлық пакетінде жүзеге асырамыз. Модель біліктерінің геометриялық өлшемдері мен орналасу схемасы тәжірибелік стенд біліктерінің орналасуы мен геометриялық өлшемдеріне толық сәйкес келеді. Модельдің төменгі білігінде тік өс бойымен қозғалуға мүмкіндік беретін бір прогрессивті еркіндік дәрежесі бар, бірақ сонымен бірге ол төменгі бетке толығымен бекітілген. Жоғарғы біліктің бір еркіндік дәрежесі бар, бұл оған тік бағытта қозғалуға мүмкіндік береді. Жоғарғы білікке күш қолданылады, бұл біліктер арасында қажетті сызықтық қысым жасайды. Жабын материалдары ретінде полиуретандар таңдалды. Бұл материалдардың физикалық-механикалық қасиеттері "Казминералс" ЖШС зертханасында INSTRON 5582 сынақ машинасында алынған "кернеу - деформация" диаграммасымен (тексеру туралы куәлік 1-қосымша) беріледі. Біліктердің жейделері 45 ГОСТ 1050-88 болаттан жасалған.

Модельдің симметриясына байланысты, сондай-ақ есептеу уақытын қысқарту және орталық қашықтықтың өзгеруін анықтау кезінде нәтижелердің дәлдігін арттыру үшін $\Delta r_{\text{есеп}}$ - байланыс аймағындағы қалыпты және тангенс кернеулерін геометриялық модельдің төртінші бөлігін қолданған жөн.



4 (а) Сурет - 2D геометриялық біліктердің байланыс моделі: 1-біліктердің жейдесі, 2-жабын

Біліктің ұзындығы бойынша деформациялар, қалыпты және жанама кернеулер 4 (б)-суретте көрсетілген көлемді геометриялық модельде қарастырылады



4 (б) Сурет - Біліктердің үш өлшемді геометриялық байланыс моделі

Геометриялық модель тұрақты торды қолдануға және сенімді элемент моделін құруға негіз болады.

4.1 Компьютерлік модельдеу нәтижелері мен жабынды сынау стендінің нәтижелерін салыстыру

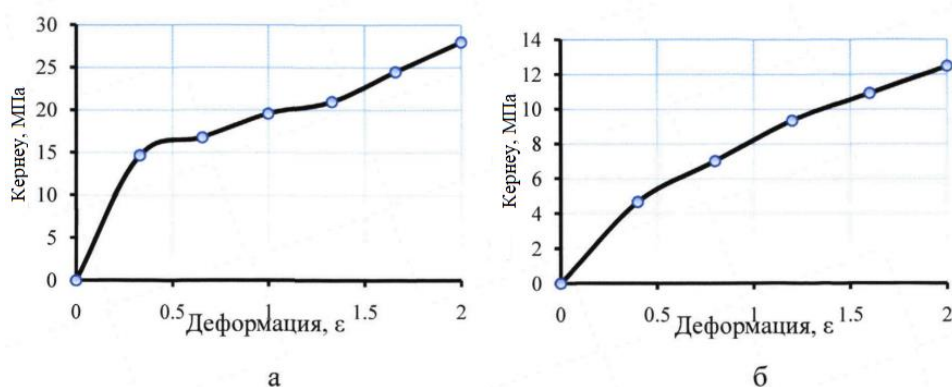
Полиуретанды жабын импеллердің технологиялық тізбегіндегі маңызды функциялардың бірін орындайды. Полиуретан-бұл қасиеттері айқын релаксация сипатымен гипер-серпімді қасиеттері бар материал. Гипер-серпімді материал деформация жылдамдығына сезімтал. Деформация кезінде полиуретан сызықтық емес қасиеттері бар материал сияқты әрекет етеді. Бұл деформациялар кернеулерге пропорционалды емес екенін білдіреді. Эластомерлердің жай-күйі гипер-дөңгелек материалдардың бірнеше модельдерімен сипатталады. Олардың ішінде келесі модельдер бар: Mooney-Rivlin, Ogden, Boyce-Arruda, Gent, Yeoh, Blatz-Ko, Neo-Hookean. Модельдердің әрқайсысының қолдану шегі бар және шешілетін мәселенің түріне байланысты таңдалады.

Дененің кернеулі-деформацияланған күйін анықтау кезінде әдетте тензорлардың өздері емес, олардың инварианттары қолданылады. Деформация тензорының инварианттарын (сызықтық, квадраттық және кубтық) негізгі деформациялар арқылы жазуға болады:

$$I_1 = \lambda_1^2 + \lambda_2^2 + \lambda_3^2, \quad I_2 = \lambda_1^2 \lambda_2^2 + \lambda_2^2 \lambda_3^2 + \lambda_3^2 \lambda_1^2, \quad I_3 = \lambda_1^2 \lambda_2^2 \lambda_3^2 \quad (4.1)$$

мұндағы, $\lambda_1 = \lambda_3 = \sqrt{A/A_0}$, $\lambda_2 = \lambda = \frac{L}{L_0}$,

мұндағы, A_0 - үлгінің бастапқы диаметрі, A - күш қолданғаннан кейінгі үлгінің диаметрі, L_0 - үлгінің бастапқы ұзындығы, L - күш қолданғаннан кейінгі үлгінің ұзындығы. Модельде қаттылығы 70 ШорD және 95 ШорА полиуретан қолданылады.



4.1 Сурет - Кернеулік-деформация диаграммасы: а- қаттылығы 70 ШорD полиуретан, б - қаттылығы 95 Шор А полиуретан

Қолда бар эксперименттік , INSTRON 5582 машинасында алынған деректер бойынша материал үлгісін таңдау үшін, біз Ansys пакетінің мүмкіндіктерін қолданамыз. Үш параметрі бар Муни-Ривлин материалы үшін деформация энергиясының тығыздығы:

$$W = C_{10}(I_1 - 3) + C_{01}(I_2 - 3) + C_{11}(I_1 - 3)(I_2 - 3) + \frac{1}{d}(J - 1)^2 \quad (4.2)$$

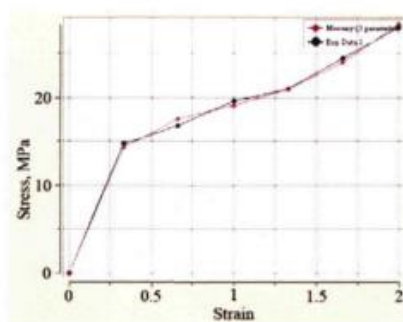
мұндағы, C_{10} , C_{01} , C_{11} -материалдың деформация девиаторын сипаттайтын материал константалары, I_1 , I_2 - деформация девиаторының бірінші және екінші инварианттары, d - материалдың сығылу параметрлері, J - көлемнің салыстырмалы өзгерісі.

Материалдың қаттылығы 70 ШорD кезіндегі константалар келесідей

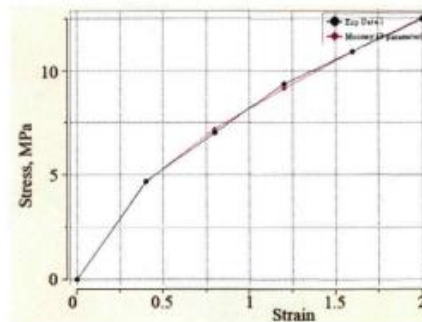
$$C_{10} = -8.64 \cdot 10^6 \text{Па}, C_{01} = 2,33 \cdot 10^7 \text{Па}, C_{11} = 1,08 \cdot 10^6 \quad (4.3)$$

Ал материалдың қаттылығы 95 ШорА кезіндегі константалар келесідей:

$$C_{10} = 1.64 \cdot 10^6 \text{Па}, C_{01} = 1,34 \cdot 10^6 \text{Па}, C_{11} = 1,59 \cdot 10^4 \text{Па} \quad (4.4)$$



а

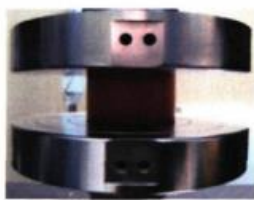


б

а-полиуретанның қаттылығы 70 ШорD, б-полиуретанның қаттылығы 95 ШорА

4.2 Сурет - Муни-Ривлиннің үш түрлі параметрлі моделімен материалдың жай-күйін (аппроксимациясын) жақындату:

Осылайша, полиуретанды жабынды модельдеу үшін біз 3 жұптан тұратын Mooney-Rivlin гипер-серпімді материалының сызықты емес моделін қолданамыз. Модельдің жай-күйінің жеткіліктілігін түсіну үшін оны тексеру керек. Ол үшін сынақ машинасындағы эксперименттердің нәтижелерін бірдей үлгілерге арналған Ansys бағдарламасын есептеу нәтижелерімен салыстыру қажет. Материал моделі жағдайын сайма-сайлылыққа бағалау критерийі ретінде жүктемені қолданғаннан кейін өлшенген АХ қозғалысының мәні қабылданады. Үлгі ретінде диаметрі 40 мм және қалыңдығы 20 мм цилиндр қабылданған (4.4-сурет)



а

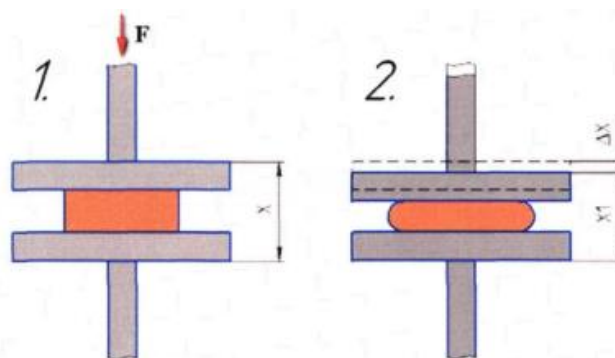


б

а-табиғи, б-үлгінің геометриялық моделі

4.3 Сурет - Материалды тексеру үлгілері

Табиғи үлгідегі қозғалысты өлшеу схемасы 4.5-суретте көрсетілген



4.4 Сурет - Сынақ машинасында орын ауыстыруды өлшеу схемасы

ΔX — шамасы мынадай формула бойынша айқындалады:

$$\Delta X = X - X_1, \quad (4.5)$$

мұндағы, X -жүктеме қолданылғанға дейінгі білік табандары арасындағы қашықтықты сипаттайтын өлшем, X_1 -жүктеме қолданылғаннан кейінгі білік табандары арасындағы қашықтықты сипаттайтын өлшем.

Эксперименттердің нәтижелері 4.1-ші және 4.2-ші кестелерде жинақталған.

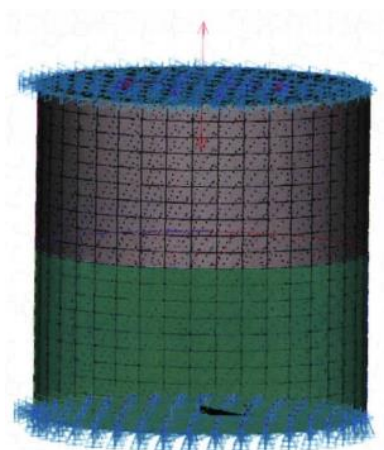
4.1 Кесте - Қаттылығы 70 ШорD үлгіні сығудың эксперименттік зерттеулердің нәтижелері

d_{xh} -үлгісінің геометриялық өлшемдері $d_{xh} = 40 \times 20$ мм								
Қысу күші F, кН	10	20	30	40	50	60	70	80
Жылжулар ΔX , мм	0,65	0,89	1,7	2,15	3,75	4,9	5,35	5,52

4.2 Кесте - Қаттылығы 95 ШорА үлгіні сығудың эксперименттік зерттеулерінің нәтижелері

d_{xh} -үлгісінің геометриялық өлшемдері $d_{xh} = 40 \times 20$ мм								
Қысу күші F, кН	10	20	30	40	50	60	70	80
Жылжулар ΔX , мм	3,38	5,8	6,63	7,58	8,2	9,46	9,62	10,8

Қозғалысарды анықтауға арналған есептелген соңғы элемент моделі 4.5-суретте көрсетілген



4.5 Сурет - Есептелген соңғы элемент моделі

Есептелген ақырлы элемент моделін құру үшін геометриялық модельді тордың көмегімен оның көлемінің соңғы санына бөліп, тиісті бекітпелер мен жүктемелер салу керек.

Металл пластинаның геометриялық моделін бөлу SOLID45 түріндегі соңғы элементтермен жасалады (әр түйінде үш еркіндік дәрежесі бар 8 түйіндік элемент). Біз полиуретанды үлгінің геометриялық моделін HYPERELASTIC тобынан SOLID185 (әр түйінде үш еркіндік дәрежесі бар 8 түйіндік элемент) түріндегі соңғы элементтермен бұзамыз. SOLID185 элементі жоғары икемділікті, үлкен деформацияны ескереді. Ол сығылмайтын серпімді-пластикалық материалдардың деформациясын және сығылмайтын гипер-серпімді материалдарды модельдеу үшін қолданылады [8]. Сандық есептеу нәтижелері 4.3 және 4.4 кестелерде жинақталған.

4.3 Кесте - 70 ШорD қаттылығындағы үлгіні сығуға сандық есептеу нәтижелері

d_{xh} -үлгісінің геометриялық өлшемдері $d_{xh} = 40 \times 20$ мм							
Қысу күші F, кН	20	30	40	50	60	70	80
Жылжулар ΔX , мм	1,18	2,4	2,99	3,47	3,9	4,27	4,6

4.4 Кесте - 95 ШорА қаттылығындағы үлгіні сығуға сандық есептеу нәтижелері

d_{xh} -үлгісінің геометриялық өлшемдері $d_{xh}=40 \times 20$ мм							
Қысу күші F, кН	20	30	40	50	60	70	80
Жылжулар ΔX , мм	4,54	5,3	6,32	7,13	7,82	8,44	9

Сандық есептеу мен табиғи эксперименттің нәтижелерін салыстыра отырып, сандық эксперименттің салыстырмалы қатесін формула бойынша анықтаймыз:

$$\delta = \frac{|Y_{\text{сандық}} - Y_{\text{эксп}}|}{Y_{\text{сандық}}} \cdot 100\% \quad (4.6)$$

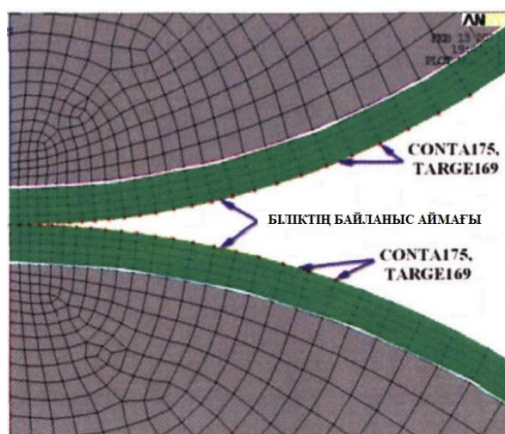
Сандық эксперименттің салыстырмалы қатесін есептеу нәтижелері 8-кестеде келтірілген.

4.5 Кесте - Сандық эксперименттік ауытқулар мен қаталіктер

Қысу күші P, кН		20	30	40	50	60	70	80
Сандық есептеу қатесі, %	70ШорБ	24	29	28	8	25	25	20
	95 ШорА	28	24	20	15	20	14	20

Осылайша, 70 ШорD қаттылығындағы материал үшін сандық эксперименттің қателігі барлық қысқыш күштер диапазонында 29% - дан аспайды, сонымен қатар 95 ШорА қаттылығындағы материалдар үшін қателік 28%-дан аспайды. Үш параметрі бар Муни-Ривлин модельдері материалдардың әрекетін осылайша қолайлы сипаттайды және оларды әрі қарай есептеу үшін қолдануға болады деген тұжырымға келдік.

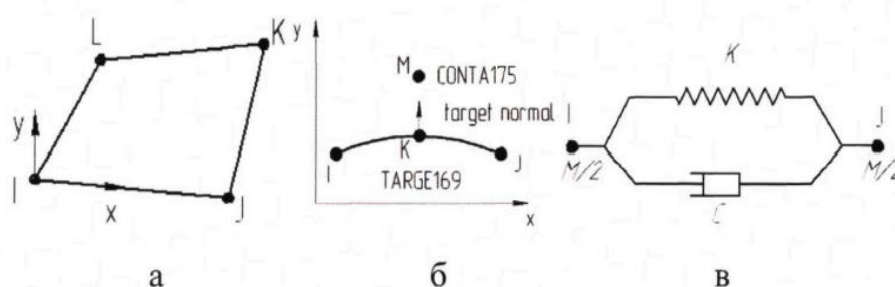
Геометриялық үлгіні салғаннан кейін және материал моделін анықтағаннан кейін біліктің жабынының ауданын ішкі қабаттарға бөлу керек. Екі және үш өлшемді есептерді шешуде СЭӨ қолданудың тиімділігі көбінесе элементтердің бөлуіне сапасымен анықталады [1].



4.6 Сурет - КЭ CONTA175 және HTARGE16 9 жағуға арналған біліктердің түйіспе аймағының тораптары

Шеңбер доғалары сынған сызықтармен жуықталады, сондықтан есептеу дәлдігін арттыру үшін контактілі қосалқы қабат торының тығыздығын арттыру керек. Эластомерлі жабындылары бар екі цилиндрдің байланыс мәселесі flexible-to-flexible байланыс есептерінің класына жатады, байланысатын денелердің қаттылығы жақын болған кезде және екі дененің деформациясы болған кезде анықталады. Біліктердің болжамды байланыс аймағында үйкеліссіз симметриялы байланыс 2D соңғы элементтерін (СЭ) CONTA 175 және TARGE 169 (node-to-surface типті байланыс үшін) қолдана отырып, модельденеді. 4.7-суретте СЭ CONTA 175 және TARGE 169 контактілерімен байланыс аймағы көрсетілген. Осы элементтердің көмегімен біліктер арасындағы байланыс өзара әрекеттесуі әр түрлі жұмыс жағдайлары бойынша модельденеді.

Екі өлшемді модельдің торын жасау үшін 4.6-кестеде жинақталған және схемалар 4.8-суретте көрсетілген СЭ түрлерін қолданамыз.

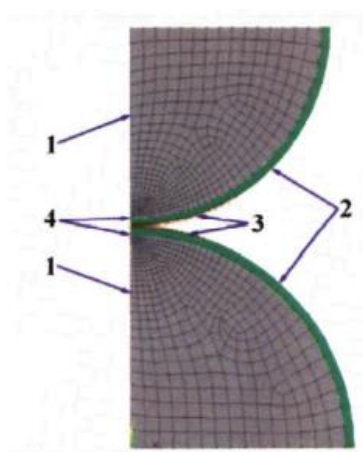


4.7 Сурет - Модельдің соңғы элементтерінің схемалары:
а-PLANE182, б-CONTA175, TARGE169, в - LINK 11

4.6 Кесте - Модельде қолданылатын соңғы элементтердің қасиеттері

№	Модельденген дене	Атауы СЭ	СЭ қасиеттері	Түйіндер саны	Бос түйіндер саны
1	Жабын	PLANE 182	ортотропты	4	2
2	Байланыс беті	CONTA 175	ортотропты, изотропты	1	3
3	Объекті (мақсатты) бет	TARGE 169	—	3	2
4	Жабысқақ қабат	LINK 11	—	2	3

СЭ-түрін таңдағаннан кейін, төрт аймақтан тұратын нақты элемент моделі жасалады: төменгі және жоғарғы біліктер 1, төменгі және жоғарғы біліктердің жабыны 2, біліктердің байланыс аймағы 3, жабынның білікпен байланыс аймағы 4 (4.9-сурет). Торлардың өлшемдері дербес компьютерлердің есептеу мүмкіндіктерімен анықталады. Есептеулер үшін intel core 2 Duo CPU 2,2 ГГц екі ядролы процессоры бар 3 Гб жедел жады бар дербес компьютер қолданылды.



4.8 Сурет - Біліктердің байланыс моделінің сенімді элементтері

Біліктердің эластомерлі материалдармен статикалық байланысын сандық модельдеу мәселесін қарастырамыз. Модельдеу жабындағы кернеулердің таралу суретін орнатуға және олардың сандық мәнін алуға, деформация кезіндегі қозғалыстарды анықтауға мүмкіндік береді. Полиуретанды жабын сызықты емес серпімді ортаға жатады. Мұндай ортаны деформациялау кезінде соңғы деформациялар шеңберіндегі геометриялық сызықты емес жағдайды ескеру қажет [3]. КДК жабу процестерінің сипаттамасы тікелей тензорлық есептеу түрінде қарастырылады.

Зерттелетін жабынның орны бекітілген координаталық векторлары бар координаттары - e_1 , e_2 , e_3 жүйеде қарастырылады. t_0 уақытының бастапқы

сәтінде жабынның орнынан өзгермеген v_0 - көлемі болады, ал дәл қазіргі t - уақытта v -көлемі деформацияланған болады деп болжанады.

Деформацияланбаған күйдегі еркін қамту нүктесінің радиус-векторын $r = x_i e_i$ түрінде аламыз; деформацияланған күйдегі сол қамту нүктесінің радиус-векторы $R = y_1(x_1 x_2 x_3) e_i$, ал осы нүктенің орын ауыстыру векторы $u = R - r = u_1(x_1 x_2 x_3) e_i$. Гамильтон операторлары бастапқы геометрияға қатысты $\nabla_x = e_j \frac{\partial}{\partial x_j}$, деформацияланған күйде $\nabla_y = e_j \frac{\partial}{\partial y_j}$.

Деформация градиентінің тензоры-соңғы деформация кинематикасында шешуші рөл атқаратын негізгі тензор:

$$R \nabla_x = \frac{\partial y}{\partial x_j} (e_i e_j) = (F). \quad (4.7)$$

Деформация мен деформация жылдамдығын сипаттау үшін келесі тензорлар қолданылады:

Коши-Гриннің деформация өлшемі:

$$(C) = (F)^T \cdot (F) = C_{ij} (e_i e_j). \quad (4.8)$$

Фингердің деформация өлшемі:

$$(B) = (F) \cdot (F)^T = B_{ij} (e_i e_j). \quad (4.9)$$

оң жақ бұрмалау тензоры (U) және сол жақ бұрмалау тензоры (V):

$$F = (R) \cdot (U) = (V) \cdot (R), \quad (4.10)$$

мұндағы (R) - ортогональды тензор;

Коши-Гриннің деформация тензоры:

$$(E) = \frac{1}{2} [(C) - (I)] = \frac{1}{2} [(F)^T \cdot (F) - (I)] = E_{ij} (e_i e_j), \quad (4.11)$$

мұндағы E_{ij} анықталады:

$$E_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_j}{\partial x_i} + \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_m}{\partial x_i} + \frac{\partial u_m}{\partial x_j} \right) \quad (4.12)$$

жылдамдықтың кеңістіктік градиенті:

$$(h) = (\nabla_y R)^T = \frac{\partial v_i}{\partial y_j} (e_i e_j) = (\dot{F}) \cdot (F^{-1}) \quad (4.13)$$

жылдамдықты деформациялау тензоры:

$$(d)=\frac{1}{2}[(h) + (h)^T] = \frac{1}{2}[(\dot{F}) \cdot (F^{-1}) + (F^{-1})^T \cdot \dot{F}^T] = d_{ij}(e_i e_j) \quad (4.14)$$

мұндағы, d_{ij} ,

$$d_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial \vartheta_i}{\partial y_j} + \frac{\partial v_j}{\partial y_i} \right) \quad (4.15)$$

бұрмалану жылдамдығының кеңістіктік өлшемі:

$$(I)=\frac{1}{2}[(U) \cdot (U^{-1}) + (U^{-1}) \cdot (U)] \quad (4.16)$$

Бұл тензорлардың өзара байланыстары [3] қосымшасында қарастырылады. Жоғарыда аталған тензорлар мен олардың туындыларын инвариантты және бейтарап деп бөлуге болады. Инвариантты тензорлардың компоненттері және олардың туындылары, және уақыт бойынша оның туындысы, e_1, e_2, e_3 проекцияларында қатты қозғалыстар салынған кезде өзгермейді.

4.2 Жазық модельдегі байланыс аймағының кернеулі-деформацияланған күйін және орта аралық қашықтықты анықтау.

Кернеулер мен деформацияларды есептеу үшін матрицалық формадағы серпімділік теориясының негізгі арақатынасын қолданамыз [4].

Деформациямен ақырлы элемент моделінің түйіндеріндегі $\{q\}$ қозғалысының байланысы келесі өрнекпен анықталады:

$$\{\varepsilon\} = [B]\{q\}, \quad (4.2)$$

мұндағы, $\{\varepsilon\}$ - соңғы элементтер түйіндерінің деформациясы; $[B]$ - еркін нүктедегі түйіндердің ығысуынан деформацияға өту матрицасы.

Кернеулер мына формула бойынша анықталады:

$$\{\sigma\} = [D]\{\varepsilon\} \quad (4.3)$$

мұндағы, $\{\sigma\}$ - соңғы элементтер түйіндерінің кернеуі; $[D]$ - материалдың серпімділік Модулінің матрицасы.

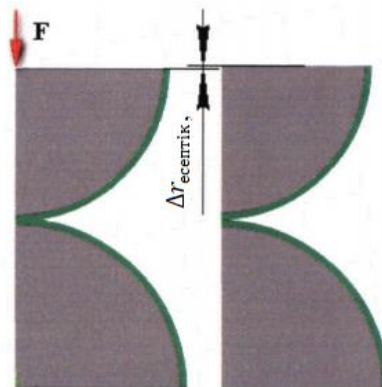
Жабын мен білік арасындағы кернеулер мен деформацияларды беру қаттылық матрицасы арқылы жабысқақ қабат арқылы жүзеге асырылады.

Жабысқақ қабаттың қаттылық коэффициенті [6] формуласы бойынша анықталады]:

$$[K_c]=K \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

мұндағы, K-қаттылық элементі.

Графиктің центрлік қашықтығының өзгеруін, $\Delta r_{\text{есептік}}$ қалыпты кернеулерінің шамасын, $\Delta \sigma_{\text{есептік}}$ тангенциалды кернеулерін және байланыс аймағындағы деформациясын есептеу үшін, ақырғы-элементтік және ақырғы-көлемдік модельдердегі шекаралық жағдайлар анықталады. Байланыс алаңын қозғалыс бағытына жылжытатын жылжымалы үйкеліс коэффициенті k жұмыс кезінде аз мөлшерде өзгереді, бұл жетек білігіндегі моменттің аз мөлшерінен туындайды, сондықтан олар назардан тыс қалады. Жүктеу схемасы суретте көрсетілген. 34-суретте көрсетілген. $\Delta r_{\text{есептік}}$, $\Delta \sigma_{\text{есептік}}$, $\Delta \tau_{\text{есептік}}$, ФО-импеллер білігінің нақты жұмыс жағдайларына сәйкес келетін қысым күштерінің ($F_{\text{пр}}$) бірнеше мәндерінің ε - ын қарастырамыз.



4.9 Сурет - Біліктерді жүктеу схемасы

Есептеу үшін қажетті деректер 5.1-кестеде келтірілген.

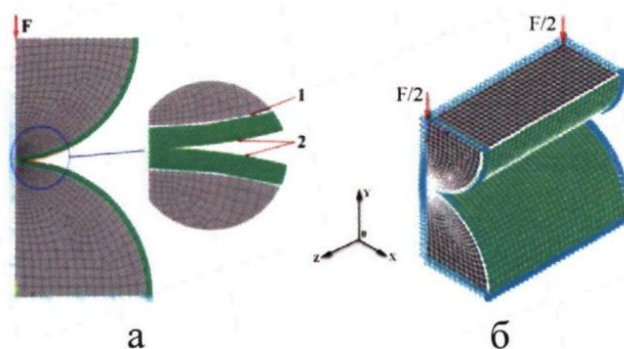
4.7 Кесте - Сандық есептеуге арналған деректер

Параметр атауы	Өлшем бірлік	Шамасы
Қысу күш	кН	10; 15...30
Біліктің диаметрі	М	0,150
Білік жабынының қалыңдығы	М	0,008

Зерттелетін жабынның материалы-полиуретан. Жабынның қаттылығы 70 ShoreD. Материалдың физика-механикалық қасиеттерін сипаттайтын "кернеу-деформация" диаграммасы 4.10 (а)-суретте көрсетілген.Есептелген

ақырлы элемент моделін құру үшін, ақырлы элемент моделіне тиісті бекітпелер мен жүктемелер салу керек. Екі өлшемді және үш өлшемді есептелген ақырлы элементтер модельдері 4.10-суретте көрсетілген. Екі өлшемді модельде (4.10 (а)-сурет) төменгі білік төменгі сызық бойымен еркіндіктің барлық деңгейлеріне бекітілген, төменгі біліктің сол жағы мен жоғарғы білік ОУ өсінде бір еркіндік дәрежесіне ие болады. Үш өлшемді модельде (4.10 (б)-сурет) бекіткіштер ұқсас, тек біліктердің бетіне тағайындалған. Біліктер ОХ және ОZ екі бағытта бекітілген.

Деформация процесі тепе-теңдік күйлерінің тізбегі ретінде ұсынылады, онда бір күйден екінші күйге ауысу жүктеменің өсуімен анықталады. Бұл жағдайда қозғалыс векторының өсуі және бір күйден екінші күйге ауысу сызықтық теңдеулермен сипатталады. Жүктеудің әр қадамы үшін қажетті кернеу тензорларын есептеуге қажетті деформация шаралары есептеледі. Жабынның қалыңдығына байланысты кернеулі-деформацияланған күй параметрлерінің өзгеру заңдылықтарын анықтау үшін біз жабындардың қалыңдығы 8 мм және 20 мм үшін есептейміз. Сандық есептеулердің нәтижелері 10 және 11 кестелерде жинақталған, кернеулер мен қозғалыстардың таралуы 36 және 37 суреттерде келтірілген.

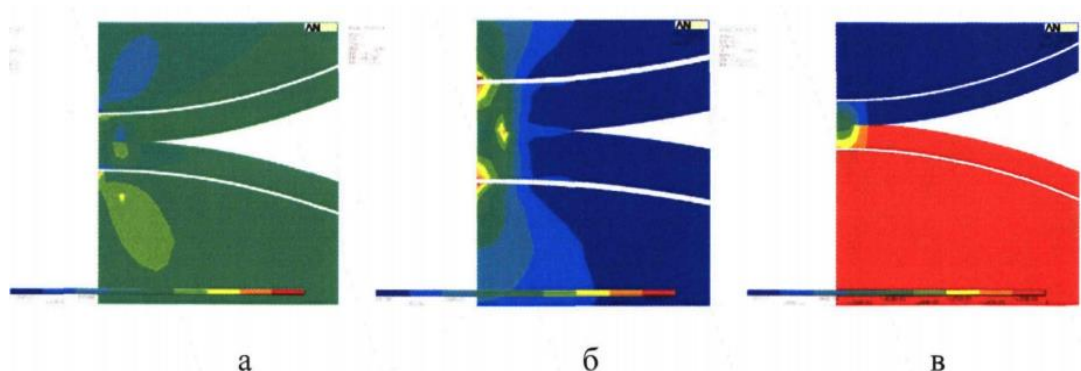


4.10 Сурет - Есептелген ақырлы-элементтік модельдер:
а-ақырлы-элементтік, б-ақырлы-көлемдік

4.8 Кесте - 8 мм жабынның қалыңдығы кезіндегі сандық есептеулердің нәтижелері

Қысу күші Р, кН	$\Delta r_{\text{есептік}}, \text{ м}$	$\sigma_{\text{есептік}}, \text{ МПа}$	$\tau_{\text{есептік}}, \text{ МПа}$
10	$0,4 \cdot 10^{-3}$	2,4	0,5
15	$0,64 \cdot 10^{-3}$	3,7	0,84
20	$0,86 \cdot 10^{-3}$	4,71	1,2
25	$1,1 \cdot 10^{-3}$	7,31	1,64
30	$1,42 \cdot 10^{-3}$	10,4	2,32

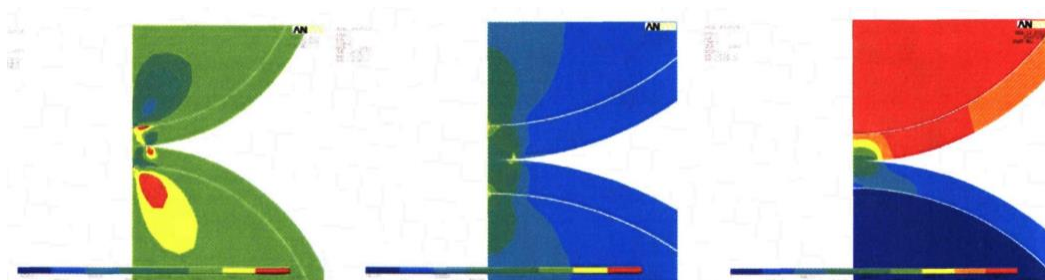
Жабынның қалыңдығына байланысты кернеулі-деформацияланған күй параметрлерінің өзгеру заңдылықтарын анықтау үшін біз жабындардың қалыңдығы 8 мм және 20 мм үшін есептейміз. Сандық есептеулердің нәтижелері 5.2 және 5.3 кестелерде жинақталған, кернеулер мен қозғалыстардың таралуы 4.11 және 4.12 - суреттерде келтірілген.



4.11 Сурет - Деформация кезінде жабындағы кернеулер мен қозғалыстардың таралуының сипаттамалық суреттері:
а-тангенс кернеулері, б-қалыпты кернеу, в-орын ауыстыру.

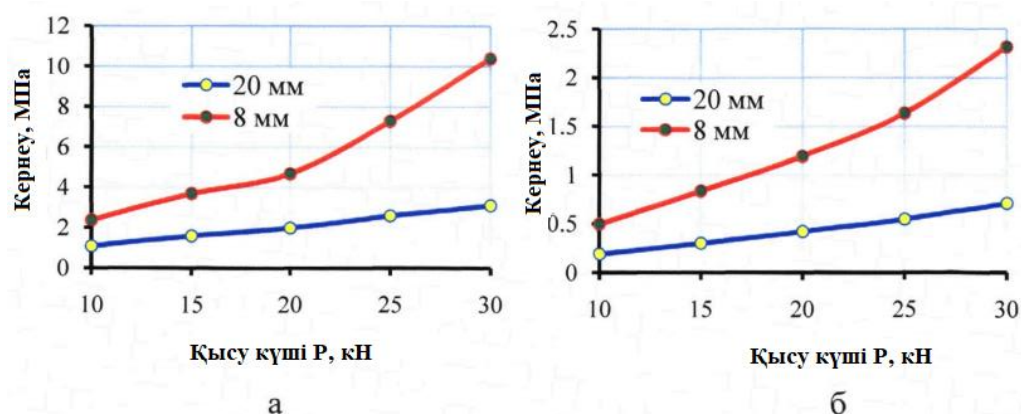
4.9 Кесте - Жабынның 20 мм қалыңдығы кезіндегі сандық есептеулердің нәтижелері

Қысу күші Р, кН	$\Delta r_{\text{есептік}}, \text{ м}$	$\sigma_{\text{есептік}}, \text{ МПа}$	$\tau_{\text{есептік}}, \text{ МПа}$
10	$0,33 \cdot 10^{-3}$	1,1	0,19
15	$0,5 \cdot 10^{-3}$	1,6	0,3
20	$0,68 \cdot 10^{-3}$	2	0,42
25	$0,87 \cdot 10^{-3}$	2,6	0,55
30	$0,96 \cdot 10^{-3}$	3,1	0,71



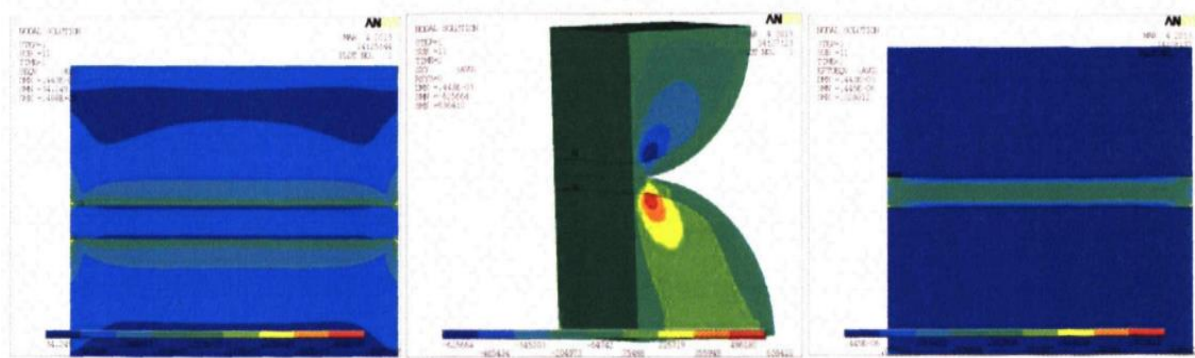
4.12 Сурет - Деформация кезінде жабындағы кернеулер мен қозғалыстардың таралуының сипаттамалық суреттері:
а-тангенс кернеулері, б-қалыпты кернеу, в-орын ауыстыру

Қалыпты және тангенс кернеулерін есептеу нәтижелері 4.13-суреттегі графиктер түрінде ұсынылады.



4.13 Сурет - Кернеудің өзгеру графигі:
а-қалыпты кернеулер, б-тангенс кернеулері

Біліктің ұзындығы бойымен кернеулі-деформацияланған күйді есептеу қалыңдығы 20 мм жабын үшін жүргізілді, есептеу нәтижелері 4.14-суретте көрсетілген.



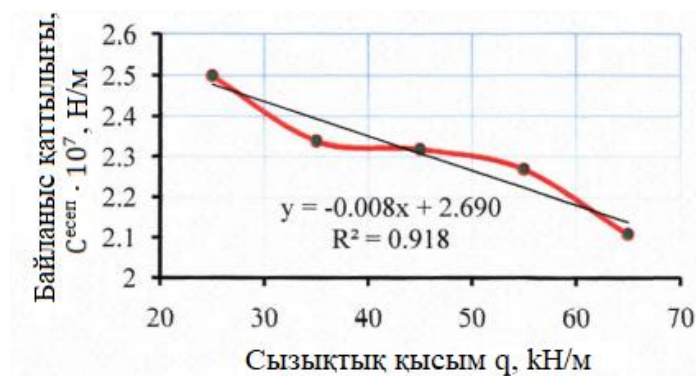
4.14 Сурет - Біліктердің ұзындығы бойынша кернеулі-деформацияланған күй: а-қалыпты кернеулер, б - тангенс кернеулері, в-деформациялар

Есептеу Ansys пакетінде жүргізілді, сонымен қатар үш өлшемді модельді есептеу уақыты 1,5 сағатты құрады. Суретте біліктердің шеттерінде қалыпты кернеулер мен деформациялар өсетіні көрсетілген, оларды азайту үшін шеттерінде технологиялық қиғашты қамтамасыз ету қажет. Сандық есептеулердің нәтижелерін тексеру үшін стендтің біліктеріндегі жабынның қалыңдығына ұқсас қалыңдығы 8 мм қапталған біліктердің байланыс қаттылығын анықтаймыз.

Біліктердің байланыс қаттылығы формула бойынша анықталады:

$$C_{\text{есеп}} = \frac{F_{\text{қысу}}}{\Delta r_{\text{есеп}}} \quad (4.4)$$

Алынған мәндер 4.15-суретте график түрінде ұсынылған.



4.15 Сурет - Біліктердің байланыс моделінің қаттылығын өзгерту

Есептелген қаттылық сызықтық функциямен жуықталады,

$$y = -0,008x + 2,69 \quad (4.5)$$

анықтау коэффициентімен $R^2 = 0.918$

4.3 Сынамадағы материалдың көлбеулік геометриясының өзгеруі кезіндегі білік жиектеріндегі жабындардың кернеулі-деформацияланған күйін анықтау

Машинаның тоқтап қалуына және біліктің ауыстырылуына әкелетін ең қауіпті ақау-бұл полиуретанды жабын мен біліктің адгезиялы қосылысының бұзылуы. Адгезиялы қосылыстың бұзылуының бірнеше түрі бар. Жойылу түрлерінің келесі жіктелуі жалпы қабылданған болып саналады: адгезиялы, когезионды яғни біріккен және аралас. Релаксация процестерінің жылдамдығынан асатындай дәрежедегі деформация жылдамдығында полимер жоғары серпімді модулі бар қатты дене секілді әрекет етеді. Бұл жағдайда бұзылу сипаты металл-полимердің интерфейсында болады, яғни адгезиялы [14].

Мұндай ақаулардың үлесі барлық ақаулардың 90%-ын құрайды [15]. Бұзылу кез-келген жерде пайда болуы мүмкін. Жұмыс тәжірибесі көрсеткендей, ең ықтимал бұзылу орны жабынның шеті болып табылады. Бұл құбылыс шекаралық эффект деп аталады. Кез-келген пиллингтің себебі-біліктің қаптамасымен жабынның жеткіліксіз адгезиясы. Шеткі әсерлер жабын материалындағы жоғары кернеулер мен үлкен деформацияларға байланысты пайда болады. Шетіндегі жабындардың кернеулері мен деформацияларын азайту үшін көптеген шетелдік компаниялар технологиялық кесуді қамтамасыз етеді. Шекаралық эффектіні есептеудің нақтыланған әдістерінің болмауы көптеген отандық өндірушілерге жабынның

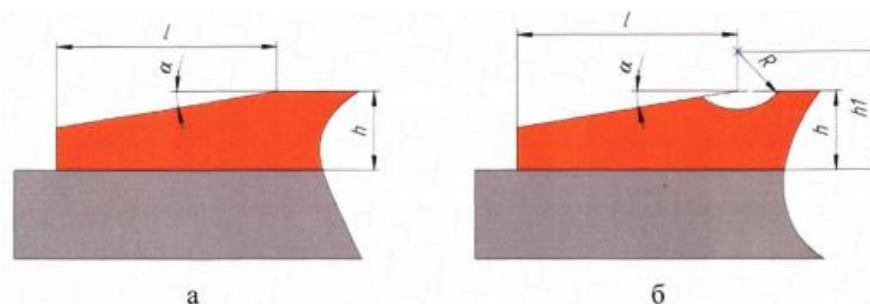
көлбеу геометриясын қабылдауға мүмкіндік бермейді, сондықтан сіз шетелдік компаниялардан көлбеу форманы алуыңыз керек, бұл әрқашан қажетті нәтижелерге әкелмейді.

Жүктемелік жағдайлар мен жабынның физикалық-механикалық қасиеттеріне байланысты, жиек әсерін ескере отырып жабындарды есептеу әдістерін әзірлеу үшін, олардың кернеулі-деформацияланған күйін (КДК) зерттеу өзекті әдіс болып табылады. Бұл әдіс жабындардың жиектеріндегі беткейлерінің геометриялық параметрлерін дұрыс таңдауға және біліктерді пайдалану кезінде полиуретанды жабындардың бұзылу себептерін анықтауға мүмкіндік береді. Жиек әсерін ескере отырып, жабындарды есептеу әдістерін жасау кезінде біз біліктердің жиектеріндегі байланыс аймағындағы (КДК) параметрлерін келесі міндеттерді қою арқылы талдаймыз: жүктеме кезінде жабынның қаттылығы мен геометриясының тәуелділігін анықтау; әр түрлі көлбеу геометриясы кезінде жабынның шеттеріндегі деформациялар, максималды тангенс және қалыпты кернеулер мөлшерін анықтау.



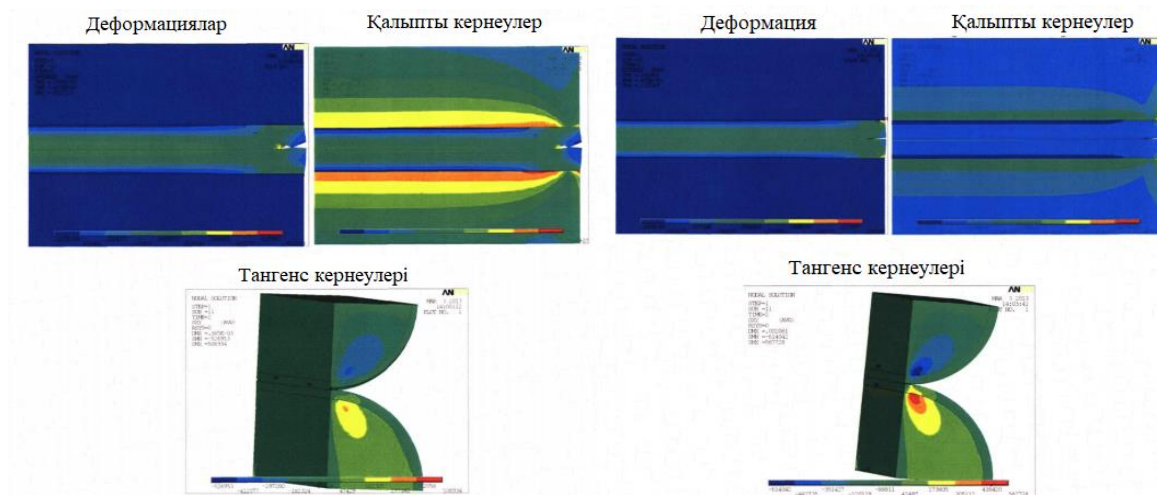
4.16 Сурет - Шекті әсерлерге байланысты импеллер білігінің жабынының бөлінуі

Есептелген ақырлы элементтік модельдерді құру әдісі көлемді геометриялық модельмен бірдей. Есептеулерде 95 ШорА және 70 ШорD қаттылығы бар полиуретандық материалдар қолданылды. Материалдардың физика-механикалық қасиеттерін сипаттайтын "кернеу-деформация" диаграммалары көрсетілген. Зерттеуде қолданылатын қиғаштардың геометриясы 4.17-суретте, ал геометриялық өлшемдері 4.10 - кестеде келтірілген.



4.17 Сурет - Жабынның көлбеулік геометриясы: а-көлбеу №1, б-көлбеу №2

Кернеу мен деформацияны есептеу нәтижелері 4.10-кестеде келтірілген, 70 ШорD және 95 ШорА қаттылығы бар материал үшін кернеу мен деформация суреті 4.18-суретте көрсетілген.



4.18 Сурет - 70 ШорD және 95 ШорА материалы үшін сандық есептеулердің нәтижелері

4.10 Кесте - Жабын жиектеріндегі ең жоғары кернеулер мен деформацияларды анықтау нәтижелері.

Параметрлері	Жабынның қаттылығы	Көлбеу №1	Көлбеу №2	Көлбеусіз
		Сызықтық қысым 100 кН / м		
Қалыпты кернеулер, МПа	70 ШорD	4,6	2,4	4,9
Жанама кернеулер, МПа		0,57	0,27	0,63
Жабындыдағы деформациялар		0,027	0,022	0,029
Қалыпты кернеулер, МПа	95 ШорА	4,7	2,02	5,03
Касательные напряжения, МПа		0,57	0,43	0,62
Жабындыдағы деформациялар		0,132	0,103	0,138

5 Қаптау параметрлерін эксперименттік зерттеу

ФМ-да және басқа техникада біліктерді резеңке, полиуретан және басқа полимерлі материалдармен қаптау кеңінен қолданылады. Стендте жүргізілген зерттеулер мыналарды алуға мүмкіндік береді: модельдеу нәтижелерін растау үшін қажетті мәліметтер; біліктердің жабындармен байланысын модельдеу кезінде қолданылатын мәндерді; жабындардың физикалық-механикалық, динамикалық сипаттамалары. Бөлімде стендтегі жабындарды заттай сынау әдістемесінің сипаттамасы көзделеді, физикалық-механикалық өзгерістерді зерттеу, температураның әсерінен полиуретандардың сипаттамаларына, эксперименттік зерттеулердің нәтижелеріне талдау жасалады.

5.1 Үлгілердегі температуралық зерттеулер

ФМ температурасы 50°C - 70°C , кейде 90°C дейін жетуі мүмкін. Сондықтан, қазіргі уақытта біліктердің жабынына қатаң талаптар қойылады. Осындай талаптардың бірі-кең температуралық диапазонда өзінің физикалық-механикалық қасиеттерін сақтау [1]. Қаптаманы жасау және пайдалану кезінде қаттылық пен оның кернеу күйі қалай өзгередінін білу маңызды, сондықтан өндіріс кезінде осы фактіні ескеріп, ең жақсы физика-механикалық сипаттамалары бар материалды таңдап, жұмыс кезінде жұмыс режимінің қажетті параметрлерін тағайындау керек. Физика-механикалық қасиеттерді сипаттау үшін «қаттылық» термині қолданылады. Бұл параметрдің артықшылығы-өлшеу қарапайымдылығы, репродуктивтілігі, аз еңбек сыйымдылығы, оны өлшеу бөліктің зақымдалуына әкелмейді.

Полиуретанның қаттылығын анықтау үшін Шор әдісі қолданылады. Полиуретанның қаттылығы екі типті дурометрлермен өлшенеді: А типті дурометр - жұмсақ материалдар, D типті дурометр - қатты [12]. Егер өлшенген қаттылық 90 А-дан үлкен болса, онда материал қатты және оның қаттылығын бағалау үшін D типті дурометрді қолдану керек, ал егер 20 D-ден аз болса, онда материал жұмсақ және оны өлшеу үшін, А типті дурометрді қолдану керек. Материал өндірушілер оның қаттылығы туралы үш температураны ұстану жайында ақпарат береді: -5°C , $+20^{\circ}\text{C}$ және $+80^{\circ}\text{C}$. сонымен қатар, температураның осы диапазонындағы қаттылығының өзгеруі айтарлықтай.

Мысалы, қаттылығы 65 ШорА полиуретанды материал үшін айырмашылық 20 бірлікті құрайды (-5°C температурада 73 ШорА қаттылығы, $+80^{\circ}\text{C}$ температурада - 53 ШорА). Қаттылықтың жоғарылауымен бұл айырмашылық азаяды. 85 Шор қаттылығы бар полиуретан үшін ол 16 бірлікті құрайды. Бөлімде $+45^{\circ}\text{C}$ -тан $+120^{\circ}\text{C}$ -қа дейінгі температура аралығында полиуретаннан жасалған үлгілердің қаттылығын анықтау бойынша эксперименттік зерттеулер сипатталады; алынған деректерге талдау жүргізіледі, жабындарды таңдау бойынша ұсынымдар келтіріледі.

Үлгілердің диаметрі 90 мм және қалыңдығы 10 мм цилиндрлік пішіні бар, құю күні - 2021 жылдың мамыры.

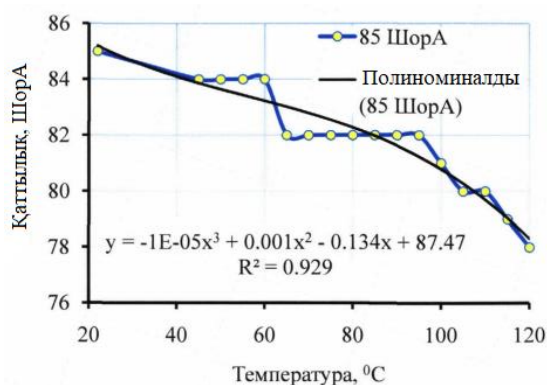
Эксперименттерде келесі жабдықтар қолданылады: пирометр Center 350 температураны өлшеу диапазоны $-20...500^{\circ}\text{C}$ және қателігі $\pm 2^{\circ}\text{C}$ температура реттегіші бар электр пеші; А типті дюрометр, Д типті дюрометр).

Эксперимент барысы. Үлгілер электр пешінде қажетті температураға дейін біртіндеп қызады, осы температурада қалыңдығы бойынша біркелкі қыздыру үшін 30 минут ұсталады. Пештен шығарылғаннан кейін үлгінің температурасы инфрақызыл пирометрмен бекітіліп, қаттылық өлшенеді. Деректер кестеге енгізіледі, үлгінің материалының температурасына байланысты қаттылықтың өзгеру графигі жасалады. Алынған эксперименттік мәліметтер функциямен жуықталады. Таңдалған функцияның эксперименттік деректерін жақындату дәрежесі R анықтау коэффициентімен бағаланады. R мәні 1-ге неғұрлым жақын болса, функция эксперименттік қисықты жақсы сипаттайды. 74 ШорD қаттылығының үлгісі үшін өлшеу деректері 5.1-кестеде келтірілген.

5.1 Кесте - Температураның өзгеруі кезіндегі үлгінің қаттылығы

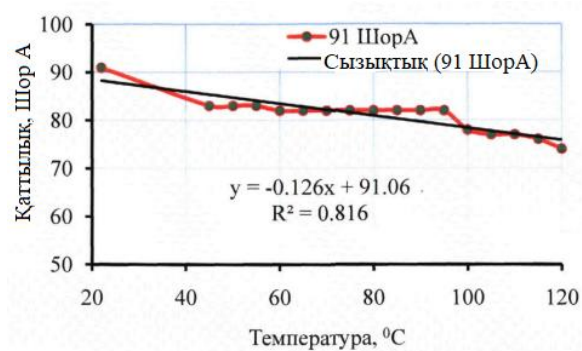
Қаттылық, Шор D ГОСТ [22]	Температурасы, $^{\circ}\text{C}$							
74 Шор D	120	115	110	105	100	95	90	85
	57	59	61	63	64	64	64	64
	80	75	70	65	60	55	50	45
	64	67	69	69	70	70	71	71

85 ШорА, 91 Шор А және 97 ШорА қаттылығы бар үлгілерге арналған өлшеу деректері 5.2-кестеде келтірілген.



5.1 Сурет - Үлгінің қаттылығын өзгерту (85 ШорА)

Температура өзгерген кезде үлгінің қаттылығы (91 Шор А) 5.2-суреттегі график түрінде ұсынылады.



5.2 Сурет - Үлгінің қаттылығын өзгерту (91 Шор А)

5.2 Кесте - Температураның өзгеруі кезіндегі үлгінің қаттылығы 85/91/97ШорА

Қаттылық, Шор А по ГОСТ [23]	Температура, °C							
85 Шор А	120	115	110	105	100	95	90	85
	78	79	80	80	81	82	82	82
	80	75	70	65	60	55	50	45
	82	82	82	82	84	84	84	84
91 ШорА	120	115	110	105	100	95	90	85
	74	76	77	77	78	82	82	82
	80	75	70	65	60	55	50	45
	82	82	82	82	82	83	83	83
97 Шор А	120	115	110	105	100	95	90	85
	88	89	90	91	92	92	92	93
	80	75	70	65	60	55	50	45
	93	93	93	93	94	94	94	94

Температура өзгерген кезде үлгінің қаттылығы (85 Шор А) 5.3-суреттегі график түрінде ұсынылған.

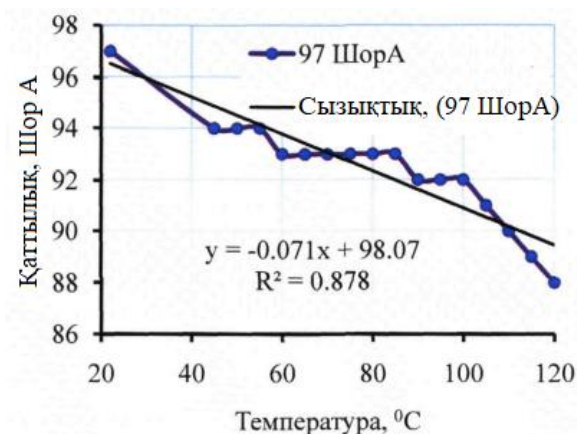
Эксперименттік қисық $R_2=0.929$ анықтау детерминация коэффициентімен үшінші дәрежелі полиномға жақындады:

$$y = -1 \cdot 10^{-5}x^3 + 0,001x^2 - 0,134x + 87,47 \quad (5.1)$$

Эксперименттік қисық сызықты анықтау коэффициенті $R^2 = 0,816$ болатын сызықтық функциямен жуықталады.

$$y = -0.126x + 91.06 \quad (5.2)$$

Температура өзгерген кезде үлгінің қаттылығы (97 Шор А) 5.3-суреттегі график түрінде ұсынылған.

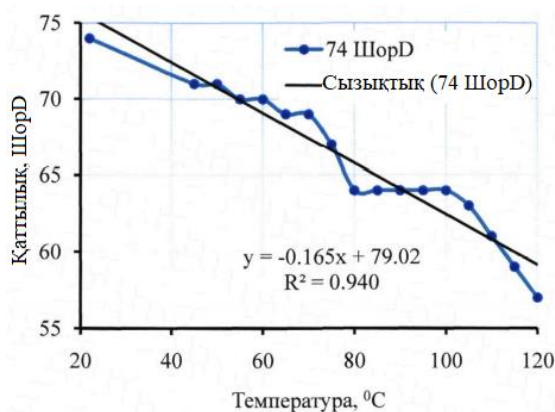


5.3 Сурет - Үлгінің қаттылығын өзгерту (97 ШорА)

Эксперименттік қисық сызықты анықтау коэффициенті $R^2 = 0,878$ болатын сызықтық функциямен жуықталады:

$$y = -0,071x + 98,07 \quad (5.3)$$

Температура өзгерген кезде үлгінің қаттылығы (74 Шор D) 5.4-суреттегі график түрінде ұсынылады.



5.4 Сурет - Үлгінің қаттылығының өзгеруі (74 Шор D)

Эксперименттік қисық сызықтық функциямен жуықталады, анықтау коэффициенті $R^2 = 0.94$:

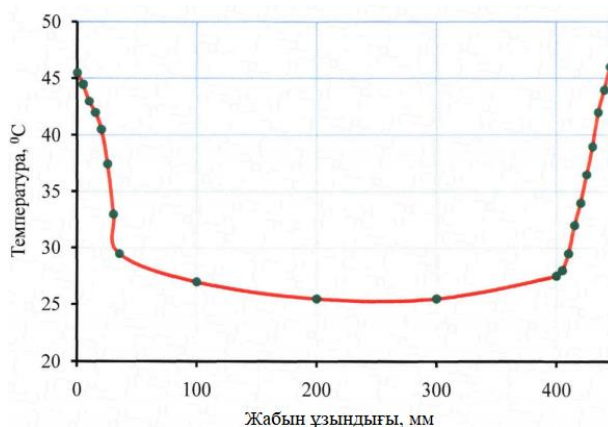
$$y = -0.165 x + 79.02 \quad (5.4)$$

Осылайша, эксперимент барысында материалдың температурасы жоғарылаған кезде импеллер жабыны ретінде қолданылатын

полиуретандардың қаттылығындағы өзгерістер графиктер түрінде алынды. Тәжірибелер көрсеткендей, 60-90 °C импеллердің жұмыс температурасында 85 ШорА, 91 ШорА, 97 ШорА қаттылығы бар үлгілер тұрақты қаттылықты көрсетеді, бірақ бұл қаттылық ГОСТ-пен өлшенген қаттылықтан едәуір аз [23]. 85 ШорА қаттылығы бар материалға арналған импеллердің жұмыс температурасының диапазоны үшін алынған қаттылық (ГОСТ бойынша) мен қаттылық арасындағы айырмашылық 85 ШорА бойынша 3 бірлік, 91 ШорА қаттылығы бар материал үшін - Шор бойынша 9 бірлік, 97 ШорА қаттылығы бар материал үшін - Шор бойынша 4 бірлік.

74 ШорD қаттылығы бар үлгі импеллердің жұмыс температурасының диапазонында тұрақты емес қаттылықты көрсетті, ол 60 °C температурада 70 ШорD-дан 90 °C температурада 64 ШорD-қа дейін төмендейді. Тәжірибелер көрсеткендей, жабын материалын таңдағанда қаттылықтың өзгеруін ескеру қажет.

Жабындардың ішкі қызуының оның физикалық-механикалық сипаттамаларына, атап айтқанда қаттылықтың өзгеруіне әсерін бағалау үшін цехтағы температура 22,5 °C болған кезде әртүрлі жұмыс режимдерінде жабынның бүкіл ұзындығы бойынша температураны анықтау бойынша эксперименттік зерттеулер жүргізілді. Температураны өлшеу лазер көрсеткіші бар Center 350 инфрақызыл пирометрімен жүргізіледі. Температураны өлшеу диапазоны -20...500°C және қателігі $\pm 2^\circ\text{C}$, жауап беру уақыты 1 C-тан кем (тексеру туралы куәлік 1-қосымша). Мысал ретінде (5.5-сурет) сызықтық қысым 50 кН/м және жетек білігінің айналу жиілігі 800 айн/мин болған кезде жабын температурасын өлшеу келтірілген.



5.5 Сурет - Жабын температурасының ұзындық бойынша өзгеруі

Графиктен біліктердің шеттеріндегі температура жабынның ортаңғы бөлігіндегі температурадан едәуір жоғары екенін көруге болады. Егер жабынның ортаңғы бөлігінде температура 25,5 C болса, шеттерінде 45-45,5 °C. Жылдамдық жоғарылаған кезде тұрақты сызықтық қысыммен жабынның температурасы жоғарылайды. Сонымен, 50 кН/м сызықтық қысым кезінде және жетек білігінің айналу жиілігі 345 айн/мин, жиектер бойынша

температура 29 °С, ортаңғы бөлігінде 23 °С. Негізгі біліктің айналу жиілігі 1200 айн/мин және сол сызықтық қысым кезінде шеттері бойынша температура 55 °С, ал ортаңғы бөлігінде 28 °С. Осылайша, жабынның ортаңғы бөлігіндегі температура аз мөлшерде өзгереді және жабынның қаттылығының өзгеруіне әсер етпейді, ал жабындардың шеттеріндегі температура орта бөліктегі температурадан 2-2,5 есе көп. Температураның мұндай жоғарылауы жабынның қаттылығының төмендеуіне, шеттерде кернеулер мен деформациялардың жоғарылауына және нәтижесінде қабыршақтануға әкеледі.

5.2 Үлгілердің байланыс қаттылығының коэффициенттерін анықтау

Кернеулі-деформацияланған күйдің динамикалық, діріл қасиеттерін, сипаттайтын маңызды шамасы ретінде біліктердің түйіспесінің қаттылық коэффициентін айтуға болады.

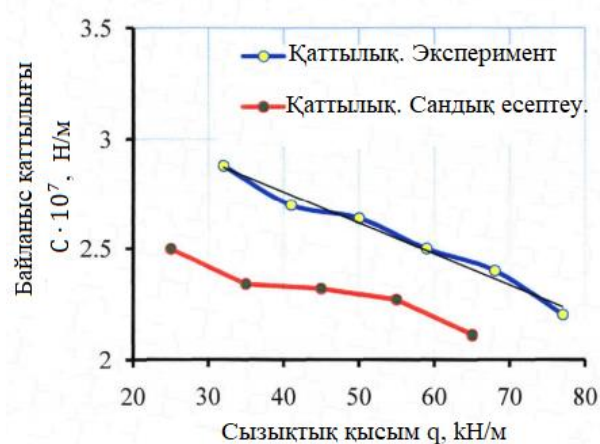
Байланыс келесі қаттылығы формула бойынша анықталады:

$$C_{12} = \frac{F_n}{\Delta r} \quad (5.5)$$

мұндағы, F_n -тәуелділік бойынша анықталатын біліктерді қысу күші; Δr -күштерді қолданғаннан кейін біліктер өстерінің жақындасуы.

Өсаралық арақашықтықты өлшеуді статикалық жағдайларда штангенциркульдің көмегімен сызықтық қысымдардың барлық диапазонында жүргізеді.

C_{12} -байланыс қаттылығының өзгеруі 5.6-суретте графика түрінде ұсынылған.



5.6 Сурет - Байланыс қаттылығын өзгерту кестесі

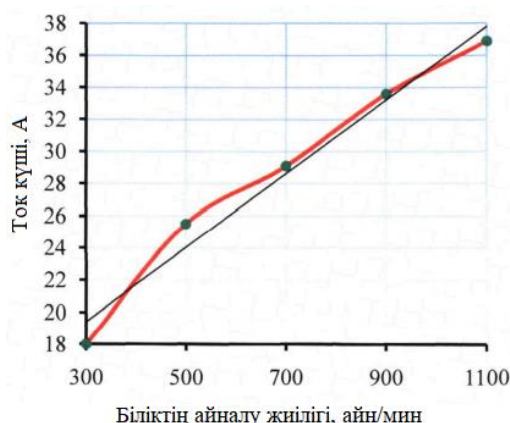
Сызықтық қысымның жоғарылауымен байланыс қаттылығы сызықтық артады. Эксперименттік деректер сызықтық функциямен жуықталған.

$$y = -0,014x + 3,32 \quad (5.6)$$

детерминация коэффициентімен $R^2 = 0,981$.

Байланыстың қаттылығын анықтау үшін алынған эксперименттік мәліметтер сандық есептеуге жақсы сәйкес келеді. Тәжірибелік түрде алынған қаттылық пен белгілі бір сандық есептеудегі қаттылық қателігі 15% - дан аспайды.

Жылжымалы үйкеліс коэффициенті - байланыс аймағының қозғалыс бағытына қарай жылжуын сипаттайды. Стендтің жұмыс режимінің өзгеруі - жылдамдық, сызықтық қысым электр тізбегіндегі токтың өзгеруіне әкеледі. Ток күші электр қозғалтқышының бір фазасындағы ток өлшеу құралдарымен анықталады. Тәжірибелер барысында ток күшінің мәндері алынды және стендтің барлық жұмыс режимдері үшін жылжымалы үйкеліс коэффициенттері есептелді. Мысалы, жылдамдықтың жоғарылауымен 30 кН/м сызықтық қысым кезіндегі ток күшінің өзгеру графигі 5.7 суретте, ал 5.8-суретте жылжымалы үйкеліс коэффициентінің өзгеруі көрсетілген.

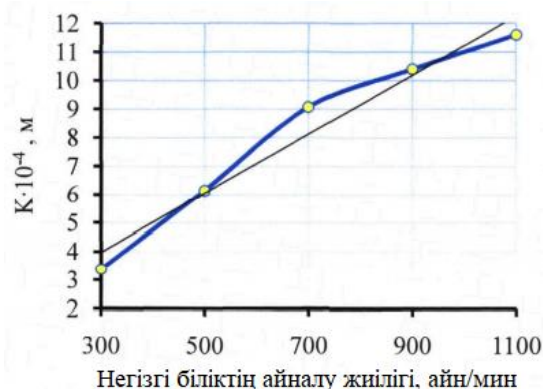


5.7 Сурет - 30 кН/м сызықтық қысымдағы ток күшінің өзгеруі

Токтың өзгеруі сызықтық функциямен жуықталады

$$y = 0,023x + 12,55 \quad (5.7)$$

анықтау коэффициентімен $R^2 = 0,974$



5.8 Сурет - 30 кН/м сызықтық қысым кезіндегі тербеліс және үйкеліс коэффициентінің өзгеруі

Біліктердің жылжымалы үйкеліс коэффициентінің өзгеруі сызықтық функциямен жуықталады

$$y=0,01x+0,88 \quad (5.8)$$

детерминация коэффициентімен $R^2 = 0,96$.

Деректерді талдау жабындармен біліктердің жылжымалы үйкеліс коэффициентінің мәні аз екенін және есептеулерде оларды елемеуге болатындығын көрсетті. Сонымен, қарастырылған жағдай үшін жылжымалы үйкеліс коэффициентінің мәні жылдамдықтың барлық диапазонында 1,2 мм-ден аспайды. Сызықтық қысым 70 кН/м және жылдамдық 900 айн/мин кезінде жылжымалы үйкеліс коэффициентінің максималды мәні 1,78 мм құрайды, бұл байланыс алаңының позициясының өзгеруіне айтарлықтай әсер етпейді.

5.3 Бөлім бойынша қорытынды

а. Импеллер білігін қаптау үшін қолданылатын полиуретандардың қаттылығының өзгерту графигі алынды. Тәжірибелер көрсеткендей, 60-90 °C пресстердің жұмыс температурасында 85 Шор, 91 Шор, 97 Шор қаттылығы бар үлгілер тұрақты қаттылықты көрсетеді, бірақ бұл қаттылық ГОСТ-пен өлшенген қаттылықтан едәуір аз [13].

б. Жабын температурасының ұзындығы бойынша таралуы оның кернеулі-деформацияланған күйіне жақсы сәйкес келеді. Жабындардың шеттерінің бөліктері жоғары кернеулермен және деформациялармен сипатталады, дәл осы жерлерде жабындардың температурасының едәуір жоғарылауы байқалады, бұл кейіннен қабыршақтануға әкеледі.

с. Эксперименттік зерттеулер барысында алынған байланыс алаңдарының өлшемдерінің сызықтық қысымға тәуелділігі анықталды. Сонымен қатар, байланыс алаңының ортаңғы бөлігінің енінің өзгеруі сызықтық заңға сәйкес жүреді, ал шеттер бойымен байланыс алаңының енінің өзгеруі сызықты емес және екінші дәрежелі көпмүшелік функциялармен сипатталады.

ҚОРЫТЫНДЫ

Флотациялық машиналардың сенімділігі машинаның әрбір жұмыс элементінің тоқтаусыз, сенімді жұмыс істеуіне байланысты. Осындай элементтердің бірі - ауа аэрациясын тудыруға арналған «Импеллер» және оның жиі ауыстырылатын жабындары. Жұмыс режимдерінің өзгеруі жабындардың қызуына, қаттылық пен кернеулі - деформацияланған күйінің өзгеруіне және соның салдарынан ондағы ақаулардың, атап айтқанда қабыршақтанудың пайда болуына байланысты жабындардың қызмет ету мерзімінің қысқаруына әкеледі.

Физикалық және механикалық сипаттамаларын ескере отырып, сынамаға алынған стенд біліктерінің жабындары мен байланысының сандық моделі және оны соңғы элементтер әдісімен шешу ұсынылады. Сандық есептеу эксперименттік зерттеулермен жақын-жуық мәнді көрсетті.

Жабын қалыңдығының өзгеруі байланыс аймағындағы кернеулердің өзгеруіне әкелетіні анықталды. Жабынның қалыңдығы 20-дан 8 мм-ге дейін төмендеген кезде байланыс аймағындағы кернеулер 60% - ға артады, бұл жабынның қызмет ету мерзімін едәуір төмендетеді. Деформацияланған күйді есептеудің ұсынылған әдісі беткейлердің геометриясын ескере отырып, білік шеттеріндегі жабындардың кернеулері мен деформацияларын анықтау үшін қолданылды. Есептеу көрсеткендей, көлбеу геометрия көбінесе білік шеттерінде жұмыс істейтін кернеулер мен деформацияларды анықтайды. Беткейлердің ұтымды геометриясын қолдану шеттерде кернеу мен деформацияны 2 еседен астам азайтуға және жабындардың ресурсын арттыруға мүмкіндік береді.

Температураның білік ұзындығы бойынша таралуы эксперименталды түрде анықталды, жабындардың жиектеріндегі температура орталық бөліктегі температурадан 2-2,5 есе көп екендігі анықталды. Жабын температурасының ұзындығы бойынша таралуы оның кернеулі-деформацияланған күйіне дәл сәйкес келеді. Жабындардың ресурсын арттыру үшін шеттерде бөренелерді қамтамасыз ету арқылы температураны төмендету керек.

Байланыс платформаларының өлшемдерінің сызықтық қысымға тәуелділігі алынды. Сонымен қатар, байланыс алаңының ортаңғы бөлігінің енінің өзгеруі сызықтық заңға сәйкес жүреді, ал шеттер бойымен байланыс алаңының енінің өзгеруі сызықты емес және екінші дәрежелі көпмүшелік функциялармен сипатталады. Алынған байланыс алаңдарының формалары температураның едәуір жоғарылауы кезіндегі жабындардың шеттеріндегі деформациялардың жоғарылауын айқын көрсетеді. Әртүрлі жұмыс режимдерінде жұмыс істейтін жабындары бар біліктердің жылжымалы үйкеліс коэффициенті қалай өзгередіні көрсетілген. Жылжымалы үйкеліс коэффициенті байланыс аймағының ығысуына айтарлықтай әсер етпейтіні және оны елемеге болатындығы анықталды.

Сонымен, 50 кН/м сызықтық қысым кезінде және жетек білігінің айналу жиілігі 345 айн/мин, жиектер бойынша температура 29 °С, ортаңғы бөлігінде 23 °С. Негізгі біліктің айналу жиілігі 1200 айн/мин және сол сызықтық қысым кезінде білік шеттеріндегі температура 55 °С, ал ортаңғы бөлігінде 28 °С.

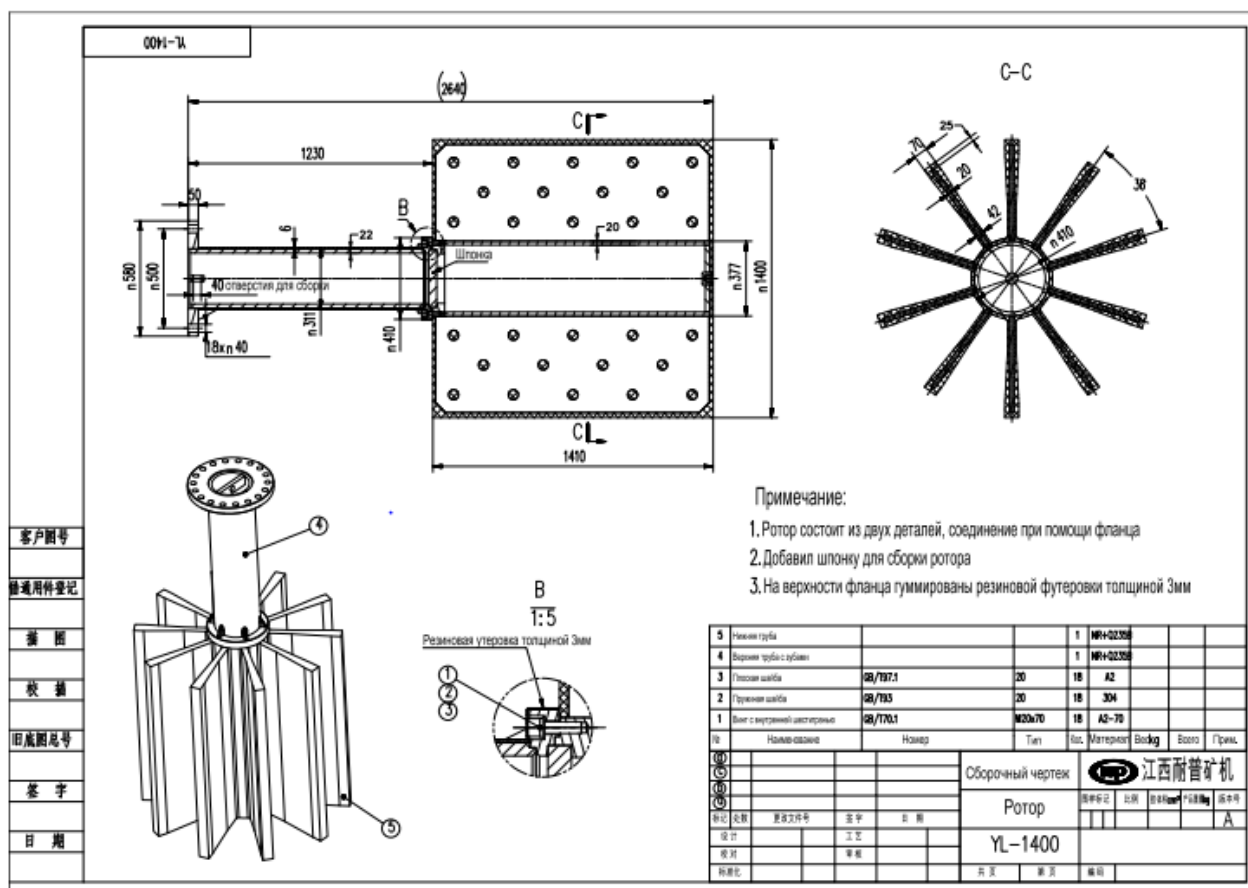
Осылайша, жабынның ортаңғы бөлігіндегі температура аз мөлшерде өзгертіндігін және жабынның қаттылығының өзгеруіне әсер етпейдігін, ал жабындардың шеттеріндегі температура орта бөліктегі температурадан 2-2,5 есе көп екендігі анықталды. Температураның мұндай жоғарылауы жабынның қаттылығының төмендеуіне және білік шеттеріндегі кернеулер мен деформациялардың жоғарылауына және нәтижесінде қабыршақтануға әкеледі.

Сөз соңында, практикалық ұсынысымыз өз кезегінде арнайы стендте сыналып, жабын материалының сенімділігі анықталды. Қазіргі таңда Ақтоғай мыс кенішінде техникалық ұсынысымыз практикалық түрде қолданылуда.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 Королев А.В. Опыт использования полиуретановых покрытий валов с целью повышения их ресурса / А.В. Королев, СВ. Воронцов //
- 2 Новые материалы и технологии в машиностроении/ Под общей редакцией Е.А.
- 3 Памфилова. Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференцию Выпуск 16. - Брянск: БГИТА, 2012. С. 43- 45.
- 4 Горячева И.Г. Механика фрикционного взаимодействия. М.: Наука, 2001,478с.
- 5 Горячева И.Г. Влияние относительного проскальзывания и свойств поверхностного слоя на напряженное состояние упругих тел при трении качения./ Горячева И.Г., Захаров СМ., Торская Е.В. // Трение и износ, 24(1):5-15,2003.
- 6 Горячева И.Г. Контактные задачи в трибологии / Горячева И.Г., Добычин М.Н. - М.: Машиностроение, 1988, 254с.
- 7 Горячева И.Г. Контактная задача качения вязкоупругого цилиндра по основанию из того же материала // ПММ. 1973. Т37, №5. С. 877-885.
- 8 Kalker J.J. Viscoelastic multilayered cylinders rolling with dry friction // ASME. J. Appl. Mech. 1991. Vol.58. P.666-679.
- 9 Braat G.F.M., Kalker J.J. Theoretical and experimental analysis of the rolling contact between two cylinders coated with multilayered viscoelastic rubber // Contact mechanics, computational techniques / Ed. М.Н. Aliabadi and С.А. Brebbia.: Contact Mechanics publ., 1993. P.1 19-126.
- 10 ГОСТ 24621-91 Пластмассы и эбонит. Определение твердости при вдавливании с помощью дюрометра (твердость по Шору). - М.: Комитет стандартизации и метрологии СССР, 1991- 7с
- 11 ГОСТ 263-75 Резина. Метод определения твердости по Шору А. - М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1975. - 6с.
- 12 Корнев, А. Е. Технология эластомерных материалов / А. Е. Корнев, А. М. Буканов, О. Н. Шевердяев. - М. : Издательство «Эксим» 2000. - 288 с
- 13 Королев А.В. Обзорный анализ полимеров, применяемых для покрытий валов / А.В. Королев, А.А. Санников // Научное творчество молодежи - лесному комплексу России: матер. IX всерос. науч.-техн. конф. / Урал. гос. лесотехн. ун-т. - Екатеринбург, 2013. -Ч . 1. С. 248 – 250
- 14 Аверко-Антонович Ю.О. Технология резиновых изделий. / Ю.О. Аверко-Антонович, Р.Я. Омельченко, Н.А. Охотина, Ю.Р. Эбич. - Л.: Химия, 1991.-352 с.
- 15 Лосев И. П. Химия синтетических полимеров/ Лосев И. П., Тростянская Е. Б. - М.: "Химия", 1971.
- 16 Яворский Б. М. Справочное руководство по физике. / Яворский Б.М., Селезнев Ю. А. - М.: "Наука", 1979.

- 17 Перепечко И.И. Акустические методы исследования полимеров. М.: "Химия", 1973.
- 18 Абрамов И.В. Совершенствование структуры планово-предупредительных ремонтов оборудования / И.В. Абрамов, Ю.В. Турыгин,
- 19 Б.М. Ценципер // Бумажная промышленность - 1988. №9 - С. 27-28.
- Берлин А. А. Основы адгезии полимеров/ Берлин А. А., Басин В. Е. - М., Химия», 1974.392 с.
- 20 Санников А.А. Структурные параметры технического состояния покрытий / А.А. Санников, А.В. Королев // Новые материалы и технологии в машиностроении/ Под общей редакцией Е.А. Памфилова.
- 21 Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференцию Выпуск 16. -Брянск: БГИТА, 2012. С.91 -93.
- 21 Джонсон К. Механика контактного взаимодействия. М.: Мир, 1989. 510с.
- 22 Johnson K.L., Kendall K., Roberts A.D. Surface energy and the contact of elastic solids // Proc. R. Soc. Lond. A 1971 - т. 324, № 1558 - С. 301-313
- 23 Tabor D. The mechanism of rolling friction // Philos. Mag. Ser. 7. 1952. Vol. 43, P.345.
- 24 Боуден Ф.П. Трение и смазка твердых тел/ Боуден Ф.П., Тейбор Д.- М.: Машиностроение, 1968.-543 с.
- 25 J.A. Greenwood, J.B.P. Williamson. Contact of nominally flat surfaces, Proc. R. Soc. Lond. A 295 (1966) 300-319
- 26 B.N.J. Persson. Contact mechanics for randomly rough surfaces // Surface Science Reports 61 (2006) 201-227.
- 27 Boltzmann L. Zur Theorie der elastischen Nachwirkung // An. Phys. Und Chem. 1876. Erg.-Bd.7.
- 28 Volterra V. Lecons sur les fonetions de lignes. Paris, 1913. Friction and wear of Polymer Composites / Ed. by F. Klaus. Elseveir,
- 29 Amsterdam - Oxford - New York, 1986. 465 p. Briscoe B.J. Wear of polymers: an essay on Fundamental aspects // Tribolog. Internat. 1981. Vol. 14. P. 231-243.
- 30 Белый В.А. Трение и износ материалов на основе полимеров/ Белый В.А., Свириденко А.И., Петроковец М.И. - Минск: Наука и техника, 1976. 432с.
- 31 Свириденко А.И. Структурная трибомеханика материалов на основе полимеров/ Свириденко А.И., Савкин В.Г. // Трение и износ. 1980. Т.1. №1. С. 150-167.
- 32 Полимеры в узлах трения машин и приборов: Справочник / Под ред. А.В. Чичинадзе. М.: Машиностроение, 1988. 328 с.
- 33 Бидерман В.Л. К расчету обрешеченных валов/ В.Л. Бидерман , А.М. Гоман // Изв. вузов. Сер. Машиностроение. 1973. - № 5. - С. 9 - 13



1 Сурет – ИмPELLер

РЕЦЕНЗИЯ

Магистерлік диссертацияға

(жұмыстың аты)

Омар Г.М

(Ф.И.О. обучающегося)

(оқушының А.Ж.Т.)

7M07111 – Машиналар мен жабдықтардың цифрлық инженериясы

(мамандықтың шифры және аты)

**Тақырыбы: ФЛОТАЦИЯЛЫҚ МАШИНАЛАРДЫҢ СЕНІМДІЛІГІН ЗЕРТТЕУ ЖӘНЕ ЖЕДЕЛ
ДИАГНОСТИКА ӘДІСТЕРІН ҚОЛДАНА ОТЫРЫП, ОЛАРДЫҢ СЕНІМДІЛІГІН АРТТЫРУ**

Рецензияға ұсынылғаны:

а) графикалық/демонстрациялық бөлімі- слайдта

б) магистрлік диссертацияның жазбаша түсініктемесі - бетте

ЖҰМЫСҚА ЕСКЕРТУЛЕР

Рецензияға ұсынылып отырған диссертацияда тау кең саласында қолданылатын флотациялық машиналардың сенімділігі мен пайдалану кезінде жиі кездесетін ақаулар талданып, олардың сенімділігі мен пайдалану мерзімін арттыру жолдары зерттелген. Зерттеулер теориялық және компьютерлік моделдеу әдістермен орындалып, оның нәтижелері эксперименталды түрде заманауи стендтерде дәлелденген. Тәжірибелік зерттеулер шынайы жағдайда жүргізілді.

Жалпы, диссертанттың алдына қойған міндеттер толық көлемде және нормативті құжаттар талабына сай орындалған, ғылыми жаңалығы мен тәжірибелік мәні бар жұмыс болып табылады. Зерттеу нәтижелері ғылыми мақала түрінде «Халықаралық конференциялар» материалдарында жарияланған.

Айтарлықтай ескертулер диссертациялық жұмысқа жоқ, тек тілек бар – диссертациялық жұмыстағы ұсыныстарды өндіріске практикалық енгізу.

Жұмысқа баға

Диссертациялық жұмыс жоғары ғылыми-әдістемелік деңгейінде орындалған, қойылған мақсаттар мен міндеттерге қол жеткізілді, мазмұны мен безендірілуі нормативтік құжаттардың талаптарына сай орындалған.

Магистрант **Омар Г.М** біліктілігі мен ғылыми деңгейі «Техника және технология магистрі» атаққа лайық, ал оның диссертациясын – "95%" - пайыздық көрсеткішпен бағалауға болады.

АУАС-тің «Өндірістік жылу-энергетикасы» доценті,

технологиялық доцент

(диплом, уч. степень, звание)

Мусабеков Р.А.

(подпись)

« _____ 2021 г.



ҒЫЛЫМИ ЖЕТЕКШІНІҢ ПІКІРІ

Магистерлік диссертацияға

Омар Г.М

7M07111– Машиналар мен жабдықтардың цифрлық инженериясы

**Тақырып: ФЛОТАЦИЯЛЫҚ МАШИНАЛАРДЫҢ СЕНІМДІЛІГІН ЗЕРТТЕУ ЖӘНЕ
ЖЕДЕЛ ДИАГНОСТИКА ӘДІСТЕРІН ҚОЛДАНА ОТЫРЫП, ОЛАРДЫҢ СЕНІМДІЛІГІН
АРТТЫРУ**

Магистрант Омар Г.М өзінің диссертациялық жұмысына дер кезінде кірісті. Ол қойылған міндеттерді орындау үшін, тау кен саласында қолданылатын флотациялық машиналардың сенімділігі мен пайдалану кезінде жиі кездесетін ақауларды зерттеп, флотомашина роторының сенімділігін, пайдалану мерзімін арттырудағы оны қаптаудың бірнеше әдістері қарастырылып, оларға сараптама жүргізді.

Зерттеудің нәтижесінде флотациялық машиналардың сенімділігін орттыру үшін ротордың қаптама материалдарының бірнеше түрлерін зерттеп, тиімдісін дәлелдеп ұсынылған. Ол роторды полиуретанмен гуммирлеуді ұсынып отыр. Полиуретанмен гуммирлеген ротор беттері сыртқы ортаның әсерінен қорғайды, үйкелуге деген жоғары төзімділік пен ұзақ қызмет ету мерзімін қамтамасыз етіледі.

Импеллердің (ротордың) қаптамаларын зерттеулер эксперименталды түрде заманауи стендте, және теориялық әдістермен дәлелденген. Тәжірибелік зерттеулер шынайы жағдайда жүргізілді.

Жалпы, диссертанттың алдына қойған міндеттері толық көлемде және нормативті құжаттар талабына сай орындалған, ғылыми жаңалығы мен тәжірибелік мәні бар жұмыс болып табылады.

Жоғарыда айтылған пікірге сай **Омар Г.М** диссертациясы мемлекеттік аттестациялау комиссия алдында қорғауға ұсынуға және «Машиналар мен жабдықтардың цифрлық инженериясы» мамандығы бойынша магистр дәрежесін иемденуге лайықты деп ойлаймын.

Ғылыми жетекші

Техн.ғылымдарының кандидаты, профессор

Мырзахметов Б.А.

« 15 »

06

2021 ж.

Протокол анализа Отчета подобия Научным руководителем

Заявляю, что я ознакомился(-ась) с Полным отчетом подобия, который был сгенерирован Системой выявления и предотвращения плагиата в отношении работы:

Автор: Омар Гүлназ Мадиярқызы

Название: Флотациялы машиналардың сенімділігін зерттеу және жедел диагностика әдістерін қолдана отырып, олардың сенімділігін арттыру

Координатор: Бейбит Мырзахметов

Коэффициент подобия 1:2.3

Коэффициент подобия 2:2.1

Замена букв: 23

Интервалы: 0

Микропробелы: 0

Белые знаки: 0

После анализа Отчета подобия констатирую следующее:

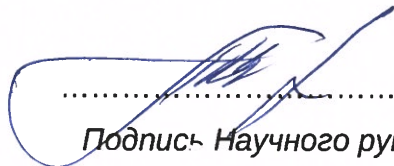
- ☒ обнаруженные в работе заимствования являются добросовестными и не обладают признаками плагиата. В связи с чем, признаю работу самостоятельной и допускаю ее к защите;
- ☐ обнаруженные в работе заимствования не обладают признаками плагиата, но их чрезмерное количество вызывает сомнения в отношении ценности работы по существу и отсутствием самостоятельности ее автора. В связи с чем, работа должна быть вновь отредактирована с целью ограничения заимствований;
- ☐ обнаруженные в работе заимствования являются недобросовестными и обладают признаками плагиата, или в ней содержатся преднамеренные искажения текста, указывающие на попытки сокрытия недобросовестных заимствований. В связи с чем, не допускаю работу к защите.

Обоснование:

Рекомендую к защите

18.06.2022.

Дата



Подпись Научного руководителя

заведующего кафедрой / начальника структурного подразделения

Автор: Омар Гүлназ Мадиярқызы

Координатор: Бейбит Мырзахметов

Коэффициент подобия 2:2.1

Замена букв:23

Интервалы:0

Микропробелы:0

Белые знаки:0

После анализа отчета подобию заведующий кафедрой / начальник структурного подразделения констатирует следующее:

- ☐ обнаруженные в работе заимствования являются добросовестными и не обладают признаками плагиата. В связи с чем, работа признается самостоятельной и допускается к защите;
- ☐ обнаруженные в работе заимствования не обладают признаками плагиата, но их чрезмерное количество вызывает сомнения в отношении ценности работы по существу и отсутствием самостоятельности ее автора. В связи с чем, работа должна быть вновь отредактирована с целью ограничения заимствований;
- ☐ обнаруженные в работе заимствования являются недобросовестными и обладают признаками плагиата, или в ней содержатся преднамеренные искажения текста, указывающие на попытки сокрытия недобросовестных заимствований. В связи с чем, работа не допускается к защите.

Обоснование:

Обнаруженные в работе замечания
не обладают признаками мажоранта

 18.06.2021

Дата

Подпись заведующего кафедрой /

начальника структурного подразделения

Окончательное решение в отношении допуска к защите, включая обоснование:

В связи с отсутствием платности
работы допускается к защите



Дата

18.08.2021

Подпись заведующего кафедрой /

начальника структурного подразделения