

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Энергетика және машина жасау институты

Технологиялық машиналар және көлік кафедрасы

Демеу Асқар Исаұлы

«Сандық технологияларды қолданып ұсақтау жабдықтары жұмысының сенімділігін  
бағалау»

**МАГИСТРЛІК ДИССЕРТАЦИЯ**

7М07111 – Машиналар мен жабдықтардың сандық инженериясы

Алматы 2022

ҚАЗАҚОРНАҚ РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Энергетика және машина жасау институты

ӘОЖ 665.622.43.046.6-52 (043)

Қолжазба құқығында

Демеу Асқар Исаұлы

Магистр академиялық дәрежесін алу үшін дайындалған

### МАГИСТРЛІК ДИССЕРТАЦИЯ

Диссертация атауы Илемдеу орнақтарының жұмыс тиімділігін арттыру үшін илемдеу үрдісінің энергоқуштік параметрлерін модельдеу және зерттеу

Дайындау бағыты 7М07111 - машиналар мен жабдықтардың сандық инж.

Ғылыми жетекші,

т.ғ.к., профессор

Бортебаев С.А.

“ 02 ” 06 2022 ж

Пікір беруші,

т.ғ.д., профессор

Турдалиев А.

“ ” 2022 ж

Норма бақылаушы,

Техника және технология магистрі,

лектор

Балгаев Д.Е.

“ ” 2022 ж



**ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ**

ТМЖК кафедра меңгерушісі

т.ғ.к., ассис. проф.

Бортебаев С.А.

“ 02 ” 06 2022 ж.

Алматы 2022

ҚАЗАҚОРНАҚ РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Энергетика және машинажасау институты  
(институт атауы)  
Технологиялық машиналар және көлік кафедрасы  
(кафедра атауы)

7M07111 - машиналар мен жабдықтардың сандық инженериясы  
Мамандық шифрі және атауы

**БЕКІТЕМІН**

Кафедра меңгерушісі

Т.ғ.к., ассис. проф.

(ғылыми дәрежесі, атауы)

 Бортебаев С.А.

Қолы

Аты жөні

“ 17 ” 11 2020 ж.

**Магистрлік диссертация орындауға  
ТАПСЫРМА**

Магистрант Демеу Асқар Исаұлы  
(білім алушының аты жөні)

Тақырыбы: Илемдеу орнақтарының жұмыс тиімділігін арттыру үшін илемдеу  
үрдісінің энергокүштік параметрлерін модельдеу және зерттеу  
(магистрлік диссертация тақырыбы)

Университет Ректорының 2020 жылғы "03" қараша №2026-м бұйрығымен  
бекітілген

Аяқталған жұмысты тапсыру мерзімі 2022 жылғы "26" мамыр.

Магистрлік диссертацияның бастапқы берілістері: Илемдеу орнақтарының  
энергокүштік параметрлерін математикалық және компьютерлік модельдеу

Магистрлік диссертацияда қарастырылатын мәселелер тізімі:

- а) орнақтардың энергокүштік параметрлерін модельдеудің белгілі әдістерін талдау;
- б) Илемдеу процесінің энергосилдік параметрлерін модельдеу;
- в) Илемдеу процесінің энергосилдік параметрлерін есептеу әдістемесі;
- г) Илемдеу процесін энергосилдік есептеудің әдістемесінің дұрыстығын зерттеу.

Ұсынылатын негізгі әдебиет: 21 атау

**Магистрлік диссертация дайындау  
КЕСТЕСІ**

Бөлімдер атауы, қарастырылатын мәселелер тізімі	Ғылыми жетекші мен кеңесшілерге көрсету мерзімдері	Ескерту
Орнақтардың энергोकүштік параметрлерін модельдеудің белгілі әдістерін талдау	1.03.2021	
Илемдеу процесінің энергोकүштік параметрлерін модельдеу	1.04.2021	
Илемдеу процесінің энергोकүштік параметрлерін есептеу әдістемесі	10.04.2021	
Илемдеу процесін энергосилдік есептеудің әдістемесінің дұрыстығын зерттеу	1.05.2021	

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

Бөлімдер атауы	Кеңесшілер, аты, әкесінің аты, тегі (ғылыми дәрежесі, атағы)	Қол қойылған күні	Қолы
Орнақтардың энергोकүштік параметрлерін модельдеудің белгілі әдістерін талдау	Т.Ғ.К., ассис. проф. Бортебаев С.А.	1.03.2022	
Илемдеу процесінің энергोकүштік параметрлерін модельдеу	Т.Ғ.К., ассис. проф. Бортебаев С.А.	1.04.2022	
Илемдеу процесінің энергосилдік параметрлерін есептеу әдістемесі	Т.Ғ.К., ассис. проф. Бортебаев С.А.	10.04.2022	
Илемдеу процесін энергोकүштік есептеудің әдістемесінің дұрыстығын зерттеу	Т.Ғ.К., ассис. проф. Бортебаев С.А.	1.05.2022	
Норма бақылаушы	тех. ғылым. магистрі, лектор Балгаев Д.Е.		

Ғылыми жетекші

  
(қолы)

Бортебаев С.А.  
(аты жөні)

Тапсырманы орындауға алған  
білім алушы

\_\_\_\_\_  
(қолы)

Демеу А.И.  
(аты жөні)

Күні

" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2022 ж.

## **АНДАТПА**

Әр түрлі илемдеу тәсілдерінің энергокүштік параметрлерін зерттеу және модельдеу бойынша жұмыс нәтижелері келтірілген. Илемдеу тәсілдерінің үш өлшемді компьютерлік модельдері модельденді және динамикалық компьютерлік бағдарламалардың көмегімен энергокүштік параметрлері зерттелді. Сондай-ақ, Илемдеу процесінің энергокүштік параметрлерінің математикалық моделі жасалды. Энергокүштік параметрлерін зерттеу барысында негізгі кемшіліктер анықталды және оларды шешу жолдары ұсынылды. Алынған нәтижелер әртүрлі илемдеу тәсілдерінің энергокүштік параметрлерін жақсартуда практикалық және ғылыми қызығушылық тудыруы мүмкін.

## **АННОТАЦИЯ**

Приведены результаты работы по исследованию и моделированию энергосиловых параметров различных способов илемки. Были смоделированы трехмерные компьютерные модели способов илемки и исследованы энергосиловые параметры с помощью динамических компьютерных программ. Также была построена математическая модель энергосиловых параметров процесса илемки. В процессе исследования энергосиловых параметров были выявлены основные недостатки и выдвинуты способы их решения. Полученные результаты могут представлять практический и научный интерес при улучшениях энергосиловых параметров различных способов илемки.

## **ANNOTATION**

The results of work on the study and modeling of energy-power parameters of various rolling methods are presented. Three-dimensional computer models of rolling methods were modeled and power parameters were investigated using dynamic computer programs. A mathematical model of the energy-power parameters of the rolling process was also constructed. In the process of studying the energy-power parameters, the main shortcomings were identified and ways to solve them were put forward. The results obtained may be of practical and scientific interest in improving the power parameters of various rolling methods.

## Терминдер мен қысқартулар

БИКЖО	ыстықтай Илемдеу кең жолақты орнақтар
БИО	ыстықтай Илемдеу орнағы
ҮКЖД	үздіксіз кең жолақты диірмен
ЖБӨС	жаңа бастапқы өнімділік орнақдарттары
ЧБ	челябі болаты
AISI	тот баспайтын аустениттік болат маркасы
ҰҒҰ	ұлттық ғылым университеті

## МАЗМҰНЫ

Кіріспе	7
1 Орнақтардың энергетикалық және технологиялық параметрлерін модельдеудің белгілі әдістерін талдау	11
1.1 Ыстықтай Илемдеудің кең жолақты орнақтарының энергосилдік және технологиялық параметрлерін модельдеудің белгілі әдістерін талдау	11
1.2 Суықтай илемдеу орнақтарының энергосилдік және технологиялық параметрлерін модельдеудің белгілі әдістерін талдау	13
2 Илемдеу процесінің энергосилдік параметрлерін модельдеу	16
2.1 Ыстықтай илемдеу әдісімен модельдеу	16
2.2 Суық Илемдеу әдісімен модельдеу	25
3 Илемдеу процесінің энергосилдік параметрлерін есептеу әдістемесі	31
3.1 Деформация фокусының моделін негіздеу	31
3.2 Деформация ошағындағы тангенс кернеулерінің ұсынылған моделі	33
3.3 Деформацияға төзімділік моделі	34
3.4 Жылжымалы қуатты анықтау	36
3.5 "Кварто" клетінің басты жетегі қозғалтқыштарының моменті мен қуатын есептеу	38
4 Илемдеу процесін энергосилдік есептеудің әдістемесінің дұрыстығын зерттеу	42
4.1 Ыстықтай илемдеу процесін энергосилдік есептеудің жаңа әдістемесінің дұрыстығын зерттеу	42
4.2 Деформация ошақтарының құрылымдық және энергосилдік параметрлеріне Илемдеу процесінің негізгі факторларының әсерін зерттеу	43
4.3 Ыстықтай тапталған жолақтарды өндіру технологиясын жетілдіру үшін әзірленген әдістемені қолдану	44
Қорытынды	48
Пайдаланылған әдебиеттер тізімі	49

## КІРІСПЕ

Қазіргі уақытта илем өндірісінің басым міндеттерінің бірі өндіріс тиімділігін арттыру және сапасыз өнімнің үлесін төмендету болып табылады, оған Илемдеудың жұмыс температурасын төмендету, жылдамдық режимдерін оңтайландыру және орамдарды калибрлеу арқылы қол жеткізуге болады [1]. Қазіргі уақытта жобалау кезеңінде ең аз энергия шығындарымен дайын өнімді алу үшін илемтың ең жақсы параметрлерін анықтауға, илемтың қимасы бойынша да, жұмыс құралында да кернеулерді біркелкі бөлуге мүмкіндік беретін әмбебап талдау әдістемесінің болмауына байланысты проблемалар бар.

Өнімнің сапасын жақсартудың жалпы тенденциясы барлық салаларға әсер етеді және металл өнімдерін тұтынушылардың жоғары технологиялық және эксплуатациялық қасиеттері бар илем өнімін алуға деген ұмтылысынан көрінеді. Өз кезегінде, бұл металл өндірушілерден жұмыс істеп тұрған өндірістердің тиімділігін және илем өндірісінің бәсекеге қабілеттілігін арттыруға мүмкіндік беретін технологияларды үнемі енгізуді талап етеді. Сонымен қатар, өнімнің, ресурстардың және энергияны үнемдеудің сапасын жақсарту үшін тиімді илемдеу технологияларын жедел жобалау әдістерін құру және жетілдіру қажеттілігін анықтайтын әзірлемелерді енгізуді жеделдету қажеттілігі туындайды.

Илем өндірісінің қазіргі жай-күйін талдау энергия үнемдеуден басқа, негізгі проблема илем өнімдерінің тұтынушылық қасиеттерінің тұрақтылығын қамтамасыз ету болып табылатындығын көрсетеді, бұған Илемдеудың деформациялық режимдерін қатаң реттеу және оның параметрлерінің берілген өзгеру диапазонындағы орнақдағы технологиялық процесті бақылау кезінде ғана қол жеткізіледі. Жоғарыда айтылғандарды жүзеге асыру Болаттың химиялық құрамы мен құрылымының тұрақсыздығы мен гетерогенділігіне байланысты белгілі бір қиындықтар туғызады, бұл кірістіліктің бастапқы шегі мәнінің ауытқуын, диірменге кіре берістегі жолақ қалыңдығының тұрақсыздығын және Илемдеу режимдерін анықтайды. үздіксіз диірменде, жолақтың қалыңдығы мен кернеуі бір уақытта реттелген кезде, жылдамдық пен сығу мәндері тұрақты емес, сәйкесінше Илемдеу процесінің қуат параметрлері, сонымен қатар илектелген жолақтардың дәлдігі, тегістігі және механикалық қасиеттері. Сондықтан технологиялық режимді жобалау кезінде технологиялық және энергетикалық параметрлердің қазіргі ауытқуларын ескеру қажет, бұл берілген деңгейдегі және оның сапасының тұрақтылығы бар өнімді алуды қамтамасыз ететін Илемдеудың сенімді энергия тиімді технологиясын әзірлеуге мүмкіндік береді. болжамды соңғы қасиеттері бар көрсеткіштер.

Бістықтай Илемдеудың энергосилдік параметрлеріне Илемдеудың жиынтық күші және Илемдеудың айналу сәті жатады. Бұл жылжымалы мәндерді стационарлық режимдерде және көлденең клетте профильдеу режимінде анықтау қажет. Мұны қысым механизмдері мен негізгі электр

жетектерінің сипаттамаларын бағалау үшін, сондай-ақ осы механизмдердің математикалық модельдерін жасау үшін жасау керек.

Қазіргі уақытта жылжымалы күш пен моментті анықтаудың бірнеше әдістері белгілі және дамыған. Жылжымалы күшті есептеудің көптеген әдістері деформация ошағында металға әсер ететін байланыс кернеулерінің дифференциалдық теңдеулерін шешу арқылы алынады. Бұл қатынастар жалпылама сипатта болмайды және оларды қолдану құрамдас коэффициенттер алынған жағдайлармен шектеледі. Белгілі бір диірмен үшін ең жақсы есептеу әдістерін біржақты таңдау іс жүзінде мүмкін емес; біз тек жайма Илемдеу орнақын Илемдеу күшін есептеу үшін бірқатар әдістердің артықшылығын анықтай аламыз.

*Жұмыстың мақсаты:* илемдеудің белгілі теориялық және эмпирикалық тәуелділіктерді қолдана отырып, оңтайлы режимдерді аналитикалық жолмен анықтау, сонымен қатар нақты серпімді және пластикалық деформацияның математикалық тәуелділіктері негізінде компьютерлік есептеулерді қолдана отырып, процестің жеткілікті сандық модельдерін құру үшін әртүрлі режимдерді мөедльдеу арқылы зерттеу.

Жоғарыда айтылғандарға байланысты илем өндірісінің энергетикалық шығындарын төмендетудің оңтайлы әдістерін, сондай-ақ Илемдеу кезінде жолақтың өзгеруін есептеудің жоғары дәлдікті әдістерін әзірлеу және жобалау қажеттілігі туындайды [3]. Илемдеу әдістерін жобалауды автоматтандыру еңбек шығындарын азайтады және сұрыптаудың жаңа түрлерін игеру кезінде калибрлеуді дамыту тиімділігін арттырады. Сорттық Илемдеудің технологиялық процесін оңтайландыру мәселесін шешудің бір тәсілі-қалыптаудың энергетикалық шығындарын азайту мақсатында шығарылатын калибрлердің пішінін жетілдіру [4]. Алайда, жобалау кезеңінде ең аз энергия шығындарымен дайын өнімді алу үшін тиімді Илемдеу параметрлерін анықтауға мүмкіндік беретін әмбебап талдау әдісі әлі жоқ.

Кең жолақты ыстықтай илемдеу орнақтары (КЖЫИО) соңғы онжылдықтарда айтарлықтай өзгерістерге ұшырады: ыстықтай илемделген болат жолақтардың минималды қалыңдығы 1,8-2,0 мм-ден 0,8-1,2 мм-ге дейін төмендеді. Мұндай қалыңдықтағы жолақтар бұрын тек суық илектеу орнақтарында өндірілген, алайда машина жасау және құрылыс индустриясының бірқатар кәсіпорындары, егер олардың механикалық сипаттамалары және бетінің сапасы қойылатын талаптарға сәйкес келеді.

ЫИО паспорттық сипаттамаларына сәйкес келмейтін қалыңдығы 0,8-1,2 мм ыстықтай жаншылған жолақтардың өндірісін игеру жолақ пен біліктер арасындағы деформация ошақтары құрылымының және үйкеліс жағдайларының өзгеруіне әкелді, атап айтқанда, клеттердің таза топтарындағы жиынтық сығу 97% – ға дейін, жеке сығу-63% - ға дейін ұлғайды, нәтижесінде серпімді учаскелердің ұзындығы ұлғайды деформация ошақтары және жолақ пен біліктер арасындағы түйіспелік кернеулер қауіпті деңгейге дейін – 800 - 1100 МПа, суық Илемдеу кезіндегі кернеулер деңгейіне сәйкес келеді.

Деформация ошақтарының құрылымындағы сипатталған өзгерістер БИО технологиялық процесінде бірқатар проблемаларға алып келді:

- жұмыс клеттерінің негізгі жетегінің қозғалтқыштары жұмысының ықтимал шамадан тыс жүктелуіне әкеп соқтырған, ұлғайған жиынтық және жеке қысылулары бар жолақтарды илемдеу процесіне жұмсалатын энергия шығындарының өсуі;

- түйіспелі кернеулер деңгейінің көтерілуіне байланысты кең жолақты орнақтардың соңғы көтермелеріндегі жұмыс орамдарының төзімділігін төмендету;

- жолақтардың ұзындығы бойынша технологиялық параметрлердің тұрақсыздығынан (температура, қалыңдығы және кіші ені) туындаған бойлық әркелкіліктің және әркелкіліктің ұлғаюы, олардың тербелісі жалпы қысылудың өсуімен өсу үрдісіне ие болады;

- осы типтегі орнақтарда олардың орташа мәндерінің 3-8% - ын құрайтын жылжымалы күштердің жұмыс клеттеріндегі тербелістер, бұл өз кезегінде жұмыс клетінің элементтерінің серпімді деформацияларына байланысты аралық саңылаудың қосымша тербелістерін тудырады, бұл жолақтардың бойлық әртүрлілігі мен әртүрлілігінің өсуіне ықпал етеді.

Бұл мәселелерді тиімді шешу үздіксіз кең жолақты ыстық Илемдеу орнақтарын энергияны есептеудің жаңа әдісі негізінде мүмкін болады, өйткені белгілі әдістер деформация ошағындағы металдың кернеулі-деформацияланған күйінің ерекшеліктерін ескермейді және жылжымалы үйкеліс энергиясының шығынын анықтайтын математикалық аппарат жоқ. Жұмыс істейтін және бос тірек орамдарының түйісуінде пайда болады. Сонымен қатар, соңғы зерттеулер [1, 2] көрсеткендей, ыстық Илемдеу орнағының жұмыс клетінің деформация ошағы ұзындығының 85-99% - ы жабысу аймағын алады, ал серпімді учаскелердің ұзындығы соңғы НШПС клеттерінде 10-17% - ға жетеді. Сонымен қатар, [3, 4] еңбектерінде көрсетілген зерттеу нәтижелері ЖБӨС негізін құрайтын "кварто" ұяшықтарында жылжымалы үйкеліс қуатының құны негізгі жетектің жалпы қуатының 30-50% құрайтындығын көрсетті.

Белгілі әдістемелерде осы факторларды есепке алудың болмауы өзгерген сорт жағдайында 20-30% және одан да көп жететін осы әдістемелер бойынша орындалатын ҮКЖД энергетикалық күшті есептеудің қателіктеріне әкеледі.

Сондықтан оны инженерлік және технологиялық тәжірибеге енгізу үшін қазіргі заманғы жағдайларға сәйкес келетін Илемдеу процесін энергия тиімділігін есептеудің жаңа әдістемесін жасау өте өзекті және орынды болып көрінеді.

*Ғылыми жаңалығы* келесідей:

- 1) Деформация ошағының серпімді пластикалық моделіне негізделген металдың деформацияға қарсылығын, кернеулерін, илемдеу күштері мен қуатын анықтауды қоса алғанда, ыстықтай илемдеу процесінің энергетикалық параметрлерін есептеудің әдістемесі әзірленді.

2) Деформация ошағының жабысу аймағындағы жанама кернеулерінің өзгеру заңдылығы анықталды.

# **1 Орнақтардың энергетикалық және технологиялық параметрлерін модельдеудің белгілі әдістерін талдау**

## **1.1 Ыстықтай Илемдеудің кең жолақты орнақтарының энергосилдік және технологиялық параметрлерін модельдеудің белгілі әдістерін талдау**

Соңғы 50 жыл ішінде жарияланған ыстық Илемдеу процесінің ең танымал математикалық модельдері талданды. (А. и. Целикова, а. в. Третьякова, а. п. Грудева, М. Я. Бровман, Л. в. Андрейюк және т. б.)

Ыстықтай Илемдеу процесінің барлық модельдері деформация ошағының серпімді учаскелеріндегі және оның ұзындығының бөлігінде пайда болатын жабысу аймағындағы жолақтың кернеулі-деформацияланған күйін ескерусіз жасалғандығы анықталды, онда жанаспалы байланыс кернеулері максималды мүмкін мәнге жетеді – материалдың таза ығысуға төзімділігі. Сонымен қатар, Илемдеу қуатын есептеу кезінде белгілі әдістер деформация ошағының ұзындығы бойымен бағытты өзгертетін тангенс кернеулерінің Илемдеу жұмысына әсерін ескермейді және қалыпты байланыс кернеулерінің Илемдеу осіне перпендикуляр бағыттан ауытқуын елемейді.

Бірқатар кең жолақты ыстық Илемдеу орнақтарында қалыңдығы 0,8-1,2 мм-ге дейін болат жолақтардың өндірісі игерілді, бұрын кең жолақты суық Илемдеу диірмендерінің алуан түріне жатады.

Қалыңдығы 0,5 мм-ге дейін автомобильдік және конструкциялық сұрыпталымды суықтай илектелген жолақтарды өндіруге арналған кең жолақты суық Илемдеу орнақтарында қалыңдығы 0,2-0,3 мм-ге дейінгі жолақтарды осы орнақтардың паспорттық сипаттамаларында көзделмеген, әртүрлі орналасуы мен тегістігі бойынша қатаң рұқсаттары бар илемдеуді игерді.

Сұрыпталымдағы өзгерістерге және әлемдік илем нарығындағы бәсекелестіктің артуына байланысты листоилем цехтарының технологтарына келесі міндеттер жүктелді:

1) Жолақтардың өлшемдері мен жазықтығының дәлдігіне қойылатын талаптардың жоғарылауын орындау үшін Илемдеу режимдерін есептеу дәлдігін арттыру қажет болды. Бұл есептеулер 20 ғасырдың 40-70-ші жылдары сол кезеңдегі әртүрлілік пен технологияға қатысты жасалған илемдеу теориясының классикалық әдістеріне негізделген [1-7].

2) Жолақтардың игерілген қалыңдығының төмендеуі қолданыстағы орнақияларда қысылудың өсуіне әкелді, бұл Илемдеу күштері мен энергияны тұтынудың артуына әкелді, ал кейбір жағдайларда жұмыс клеттерінің түйіндеріне жүктеме және негізгі жетек қозғалтқыштарының қуаты жабдықтың паспорттық сипаттамаларында көзделмеген мәндерге дейін өсті. Энергия қуатын есептеудің классикалық әдістерінің дәлдігін талдау, олардың өзгертетін жұмыс жағдайларына жарамдылығын бағалау қажет болды. Бұл жұмыс клеткаларының деформация ошақтарында жұқа

жолақтарды Илемдеу кезінде пластикалық аймақтармен қатар серпімді аймақтар болады, ал жолақ қалыңдығының төмендеуімен серпімді аймақтардың ұзындығы артады. Көптеген белгілі әдістерде серпімді аудандардағы байланыс кернеулерін есептеу кезінде икемділік теңдеуі қолданылады, яғни бұл теңдеудің тек деформация ошағының пластикалық аймағына қолданылатындығы ескерілмейді.

Деформация ошағының серпімді учаскелеріне икемділік теңдеулерінің қолданылуы туралы болжамның энергия күші есептеуіне қандай қателік енгізетіні туралы деректер әдебиетте жоқ. Сонымен қатар, ең жұқа жолақтарды ыстық Илемдеу кезінде серпімді аймақтардың ұзындығы 18-30% жетеді, ал суық Илемдеу кезінде деформация ошағының жалпы ұзындығының 50% және одан да көп, сондықтан бұл мәселе жаңа жағдайларда үлкен өзектілікке ие болды.

3) Деформация ошақтарындағы жанаспалы үйкеліс кернеуін есепке алу әдістемесін талдау және нақтылау қажет болды. Ыстықтай Илемдеу орнақтарын энергосилдік есептеудің белгілі әдістерінің көпшілігінде осы орнақтардың жұмыс клеттеріндегі деформация ошағы ұзындығының басым бөлігін орамдарға қатысты жолақтың тайғанауы жоқ жабысу аймағы алып жататындығы ескерілмеді. Сондықтан, осы аймақтағы байланыс кернеулері үйкеліс коэффициентіне емес, жолақ материалының ығысу кедергісіне байланысты.

Суық Илемдеу орнақтарында, керісінше, деформация ошағының бүкіл ұзындығы жылжымалы үйкеліс аймағында орналасқан, бірақ жылжымалы үйкеліс коэффициентін есептеуге арналған барлық белгілі формулалар оған жабысудың салдарынан өзгертін жолақтың кірістілік шегінің әсерін ескермеді.

4) Сонымен, ыстық илемдеу зауыттарының энергия қуатын есептеудің көптеген әдістерінде жылу режимінің ескірген модельдері қолданылды: диірменнің технологиялық параметрлері мен салқындату жүйесінің бақылау әсерлерінің функциясындағы жолақтар мен орамдардың температурасын сенімді есептеуге мүмкіндік беретін күрделі модель әдебиетте жоқ.

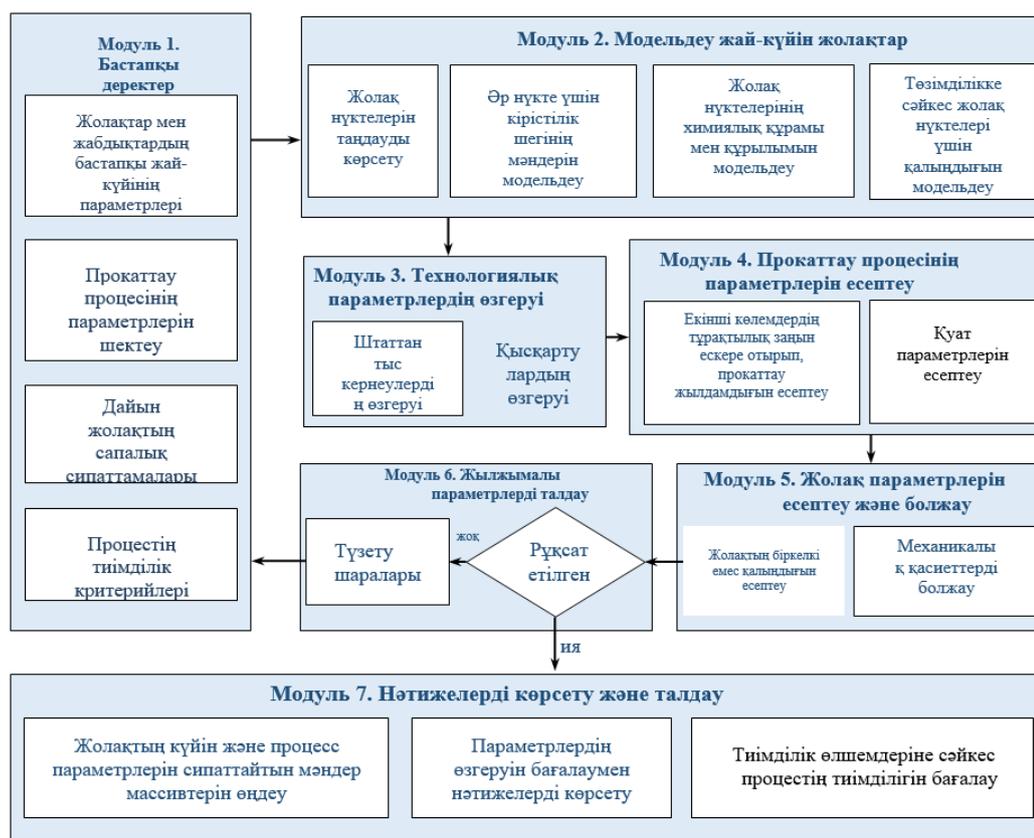
Сонымен қатар, барлық көрсетілген себептерге байланысты ең жұқа жолақтарды Илемдеу процестерінің энергия қуатын есептеу қателіктері 30-40% және одан да көпке жетті. Біз бұған қолданыстағы кең жолақты диірмендердің ASUTP-тен алынған илемдеу параметрлері туралы жүздеген деректерді өңдеу арқылы көз жеткіздік.

Жұқа жолақтардың сапасын жақсарту және осындай үлкен қателіктер жіберетін энергияны есептеу әдістерін қолдана отырып, кең жолақты диірмендер технологиясын жетілдіру мәселелерін шешу мүмкін болмады.

## 1.2 Суықтай илемдеу орнақтарының энергосилдік және технологиялық параметрлерін модельдеудің белгілі әдістерін талдау

Суық Илемдеудің технологиялық режимдерін зерттеу және жобалауға арналған жұмыстардың көпшілігінде стохастикалықты ескерместен процесс және илем параметрлерін нүктелік бағалау жүргізіледі [1-6]. [7] суық Илемдеу процесі параметрлерінің тұрақсыздығын есептеу әдісі барлық жасушаларға тең күш салу критерийі бойынша кездейсоқ факторлардың әсерін ескере отырып ұсынылды, бірақ тәжірибе көрсеткендей, оны жүзеге асыру өте қиын. [8-12] суықтай илемдеу процесін модельдеудің қолданылуы мен артықшылықтары оның параметрлерінің стационарлығы мен стохастылығын ескере отырып көрсетілген, жаңаларын жасау кезінде суықтай илемдеу процесінің динамикалық моделін қолданудың орындылығы туралы қорытынды жасалды және жұқа кең суықтай илемдеу өндірісінің қолданыстағы технологияларын жетілдіру.

Суық Илемдеу режимдерін жобалау әдістемесін әзірлеу кезінде модульдік тәсіл қолданылды (1.1 Сурет). Әр модуль белгілі бір функцияны немесе бірнеше өзара байланысты функцияларды орындайды.



1.1 Сурет – Процесс параметрлері мен жолақтарын өзгерте отырып, суық илемдеудің технологиялық режимдерін жобалау әдістемесі

1-інші модуль жолақты илемқа арналған бастапқы деректердің сипаттамасын қамтиды және жартылай сыланған және дайын жолақ бейіндерінің сипаттамалары мен өлшемдерін, орнақ жабдығының параметрлерін, клетаралық кернеу, қысу, Илемдеу жылдамдығы, жолақ күйінің параметрлері диапазондары, сондай-ақ дайын өнімнің қуатты және сапалы параметрлері сияқты технологиялық параметрлердің диапазондарын белгілеуге мүмкіндік береді. Бұл жағдайда Илемдеу режимін сипаттайтын параметрлердің бастапқы мәндерін таңдау бойынша ресми ұсыныстардың тәжірибесі жүзеге асырылуы мүмкін. 2-Модуль қалыпты үлестіру Заңы бойынша кездейсоқ сандарды генерациялау процедурасын пайдалану негізінде жолақтың күйін, ағымдылық шегінің біркелкілігін, химиялық құрамы мен құрылымын, жолақтың ұзындығы бойынша қалыңдығын ескере отырып модельдейді. 3-модульде 1-модульде берілген шектеулер бойынша үздіксіз орнақның және клетаралық керілудің клеттері бойынша қысуды таратудың барлық ықтимал нұсқаларын іріктеуге болады. 4 және 5 модульдерде әр жолақ нүктесі үшін клет пен жолақтың өзара әрекеттесу параметрлері есептеледі және екінші металл көлемінің тұрақтылық жағдайы тексеріледі. Нәтижесінде 2 және 3 модульдерде енгізілген бұзылуларды модельдеуге байланысты кездейсоқ сандар болып табылатын мәндер массивтері пайда болады. 6-модульдегі процесс параметрлері мен жолақтарды есептегеннен кейін Илемдеу процесінің энергетикалық және кинематикалық сипаттамалары тексеріледі. дайын жолақтың сапалық көрсеткіштері бағаланады. 7-модульде оң тексеру жағдайында 1-модульде берілген тиімділік критерийлеріне сәйкес келетін процесс режимінің нұсқасын таңдау үшін жолақтың күйін және процесс параметрлерін сипаттайтын мәндер массиві өңделеді. Егер қандай да бір параметр бойынша белгіленген талаптардың сақталуы сақталмаса, онда 1-модульде жобалау әдістемесіне сәйкес тиісті түзету шаралары жүргізіледі және есептеу қайталанады.

Зауыттың бас жетегінің қозғалтқыштарын энергия үнемдеуді қамтамасыз ететін технологиялық режимдерді жобалау әдістемесін іске асыру ені 1250 мм және қалыңдығы 0,5, 0,7 және 1 мм болатты ЧБ 30-дан 5-клеттік орнаққа 1700 "Северсталь" жақ илемдеу арқылы жүзеге асырылды. Алынған нәтижелер бағаланды және өндірісте тіркелген жолақты Илемдеу режимдерімен салыстырылды. Жолақтың жағдайы кірістілік шегі үшін 10% орнақдартты ауытқумен, көміртегі мөлшері үшін 0,012%, марганец үшін 0,05%, дән диаметрі үшін 0,001 мм және қалыңдығы үшін 2% модельденді.

1-кестеде әртүрлі қалыңдықтағы жолақтарды Илемдеу кезінде қысу және созылу режимдері көрсетілген. Әрбір режим екі нұсқада ұсынылған: 1 - нұсқа - нақты мәндер Илемдеу кезінде деректерді өлшеу және бақылаудың автоматты жүйесінен алынады; 2-нұсқа-жобалау әдістемесіне сәйкес есептік мәндер. Барлық жағдайларда аққыштықтың бастапқы шегі 260 МПа, Илемдеу жылдамдығы — 21 м/с, бірінші клетке дейінгі меншікті кернеу — 28 МПа, 5-ші клеттен кейін — 37 МПа құрады. Жартылай фабрикаттың

қалыңдығы қалыңдығы 0,5 мм жолақтар үшін 2,1 мм; қалыңдығы 1 мм жолақтар үшін 0,7 мм және 2,7 мм.

Кестеден екінші нұсқада бірінші клеттің максималды жүктелуі кезінде клеттер арасындағы қысылыстарды қайта бөлу және екінші және үшінші клеттердің жүктелуі белгілі бір кернеудің дәйекті жоғарылауымен бірінші клетаралық алшақтықты төртіншіге дейін жүзеге асыратындығын көруге болады. Илем орнақы клеттерінің меншікті энергия шығындарының мәндерін салыстыру әзірленген режимдер электр энергиясын 5-8% деңгейінде үнемдеуді қамтамасыз ететіндігін көрсетті.

"Северсталь" жақ 5-клеттік 1700 орнақта ЧБ30 болаттан жасалған жолақтарды Илемдеудің әзірленген режимдерін тәжірибелік-өнеркәсіптік пысықтау мынаны көрсетті:

- есептік режимдер бойынша Илемдеу кезінде орташа нақты энергия үнемдеу 6,5% - ды құрады %;

- жолақ қалыңдығының таралуы орташа  $x = 0,698$  мм және орнақдартты ауытқу  $S = 0,011$  мм сипатталды, кірістілік шегін бөлу үшін Бұл параметрлер  $x = 668$  МПа,  $S = 2,17$  МПа құрады, яғни дайын жолақтардың параметрлері суық штамптау үшін жалдау талаптарын қанағаттандырады.

## 2 Илемдеу процесінің энергосилдік параметрлерін модельдеу

### 2.1 Ыстықтай илемдеу әдісімен модельдеу

Соңғы уақытта ақпараттық технологиялардың белсенді дамуы оларды металдарды қысыммен өңдеу процестерін дамытуда кеңінен қолдануға мүмкіндік берді, бұл илем өндірісінің тиімділігін арттыру мәселесін шешуге және қажетті сападағы бәсекеге қабілетті өнімді және ең аз энергия шығынын қамтамасыз етуге мүмкіндік береді. Минималды энергия шығындарымен өнімнің қажетті сапасын қамтамасыз ететін ұтымды қысу режимдерін қолдана отырып, Илемдеу технологиясын жетілдіру міндеті өзекті. Ол үшін Deform 3D компьютерлік бағдарламасының көмегімен металдарды өңдеу бойынша зерттеулер жүргізу қажет, бұл өңдеу процесін жетілдіруді едәуір жылдамдатады.

Бұл модельдеудің мақсаты-модельдеуге арналған Deform 3D компьютерлік бағдарламасын қолдана отырып, қалың парақтарды ыстықтай илемдеу процесінің энергия қуатын зерттеу, бұл өңдеудің ұтымды режимдерін бағалауға мүмкіндік береді.

Осы мақсатқа жету үшін келесі міндеттер қойылды:

- металдарды қысыммен өңдеу процестерін зерттеу үшін соңғы элементтер әдісін қолдану мүмкіндіктерін талдау;
- Илемдеу күшінің өңделетін материалдың физикалық-механикалық сипаттамаларына әсерін зерттеу үшін ыстықтай Илемдеу моделін әзірлеу;
- қалың парақтарды ыстық Илемдеу процесінде энергия шығыны мен ұтымды төмендету режимдерін анықтау.

Ыстық Илемдеу әдісімен қалың табақты илемты өндіру технологиясы саланың тұрақты дамуын қамтамасыз ететін ұтымды технологиялық параметрлерді анықтауға мүмкіндік берді. Модельдеу үшін бастапқы деректер [11]: бастапқы дайындаманың өлшемдері-Н0 биіктігі 300-ден 500 мм-ге дейін өзгерді; В0 ені тұрақты болып, 1000 мм-ге тең болды; ұзындығы  $l_0 = 1000$  мм; олардың редукциясы  $\Delta h$  30-дан 100 мм-ге дейін өзгерді;  $v_0$  Илемдеудың бастапқы жылдамдығы 3-тен 10 м/с-қа дейін өзгерді; орам радиусы  $R_B = 400$ . Илемдеу температурасы  $1000^\circ\text{C}$ . төмен көміртекті болат өңделген материал ретінде пайдаланылды.

Сығымдаудың ұтымды режимдерін анықтау үшін Deform 3D компьютерлік бағдарламасын қолдана отырып, қалың парақтарды ыстықтай илемдеу моделі жасалды:

$$\dot{\epsilon} = \gamma(\dot{\epsilon}/S - 1)m, \quad (2.1)$$

мұндағы:  $\gamma$  – аққыштық;

$\dot{\epsilon}$  – эффективті кернеу;

$S$  – кернеу ағуы;

$m$  – материалдық параметр;

$\dot{\epsilon}$  – тиімді деформация жылдамдығы.

Бұл әдіспен тиімді кернеу материалдың кірістілік шегінен асқанға дейін сығылу болмайды. Егер тиімді кернеу ток кернеуінен аз болса, нәтижесінде пайда болатын деформация жылдамдығы нөлге тең болады. Материалдың аққыштық шегі энергия заңы бойынша белгіленді [10]:

$$\sigma = \epsilon n \cdot u m + y, \quad (2.2)$$

мұндағы:  $\sigma$  – пластикалық материал ағымының тиімді кернеуі;

$\epsilon$  – материалдың деформациясы;

$u$  - материалдың деформация жылдамдығы;

$n$  - деформация дәрежесінің көрсеткіші;

$m$  - деформация дәрежесінің жылдамдық көрсеткіші;

$y$  - тұрақтысы материалдың.

Деформация процесі компьютерлік бағдарламаны қолдана отырып, Илемдеу процесінің басында зерттелді, Нысандар кеңістікке орналастырылды, дайындаманың өлшемдері мен қысу мөлшерін ескере отырып, орамалар арасындағы қашықтық анықталды (2.1 Сурет), сондай-ақ Деформацияланатын материалдың реологиялық моделі. Қатты Пластикалық орта қай жерде қабылданғандығы анықталды. Модельдеу кезінде дайындама үшін икемді модель қолданылды, ал роликтер үшін қатты материалдың моделі таңдалды. Дайындама материалының әрекеті "кернеу-деформация" диаграммасын қолдану арқылы сипатталды. Дайындама материалының механикалық қасиеттері анықталды, материал ретінде төмен көміртекті болат таңдалды, роликтер арасында төмендеу анықталды, дайындама мен роликтер арасындағы үйкеліс коэффициенті 0,3-ке тең; роликтің дайындамамен байланыс әрекеті анықталды, ыстық Илемдеу температурасы 1000°C, өңдеудің басында анықталған деформация жылдамдығы 3 мм/с болды.

Деформация процесі 90 қадамға бөлінді. Қадамдар саны формулалармен анықталды [9,10]:

$$n = x / (v \Delta t), \quad (2.3)$$

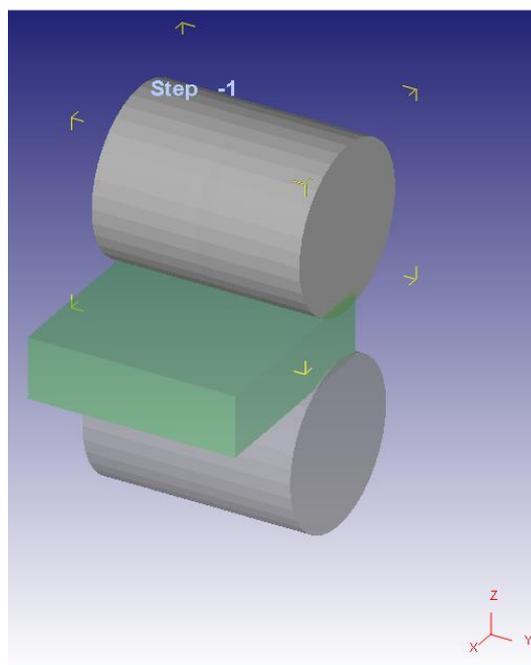
мұндағы:  $n$  - қадамдар саны,

$x$  - негізгі роликтің жалпы қозғалысы,

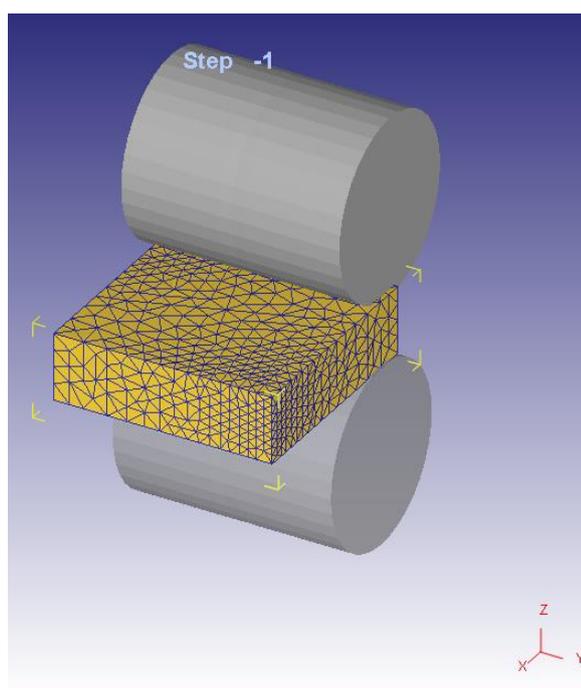
$v$  - негізгі роликтің жылдамдығы,

$\Delta t$  - уақытты бір қадамға көбейту.

Дайындаманы соңғы элементтерге бөлу үшін 80 000 элемент берілген тор салынды (2.1 Сурет). Зерттеу кезінде тордың Автоматты генерация режимі қолданылды.



2.1 Сурет - Роликтер мен өңделген материалдың орналасуы

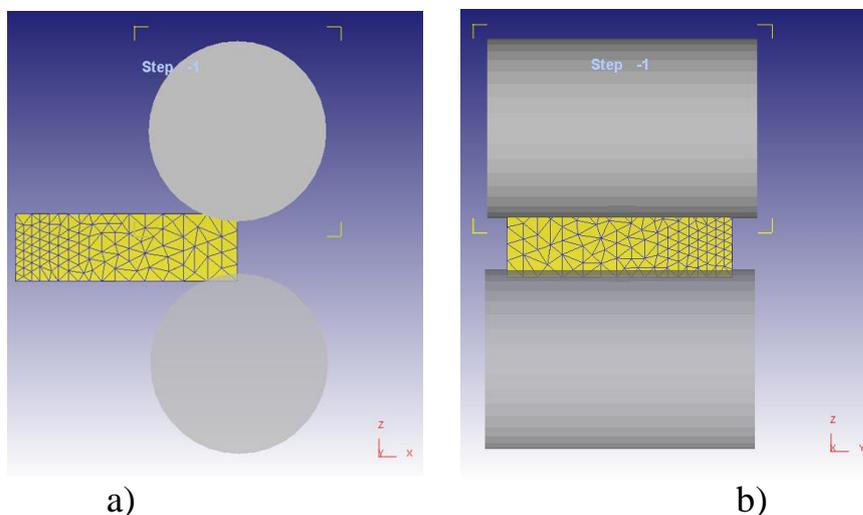


2.2 Сурет - Өңделетін материалдың элементтік моделі

Схема (2.2 Сурет) модельдеу процесінде 1, 37x10<sup>3</sup> нүктелері және 5, 62x10<sup>3</sup> элементтері бар дайындама алынғанын көрсетеді.

Нысандардың дәл орналасуы үшін роликтер мен дайындаманың өзара орналасуы 4 және А және В суретте көрсетілгендей жасалды, онда роликтер мен дайындаманың бүйір және артқы жағында үздіксіз өзара әрекеттесуі байқалады.

Өңделген дайындаманың материалы бағдарламалық жасақтаманың компьютерлік кітапханасынан анықталды. Зерттеу үшін AISI-1015\_(20-1200с) көміртекті болат материалы қолданылды. Материалдың қасиеттері әртүрлі жолдармен зерттеледі. Материал оңай деформацияланады. Материал серпімді және пластикалық қасиеттерге ие.



2.3 Сурет – Объектілердің орналасуы: А) бүйірдегі көрініс; б) артқы көрініс

Материалдың серпімді қасиеттері (Джунг модулі және Пуассон коэффициенті) сәйкесінше 0,3 және  $1,5 \cdot 10^5$ -ке тең, бұл тұрақты шамалар. "Ток кернеуі-деформация" диаграммасы 2.3 суретте көрсетілген, егер кернеу қысылған кезде көбейсе, онда ток кернеуі де артады.

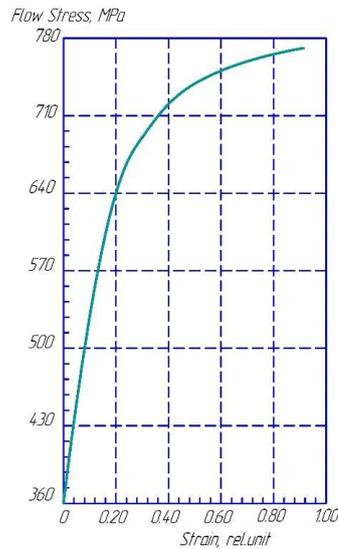
"Деформация" параметрі дайындаманың салыстырмалы сығылу дәрежесін көрсетеді, ол [11] формуласымен анықталады:

$$\varepsilon = \Delta h / h_0, \quad (2.4)$$

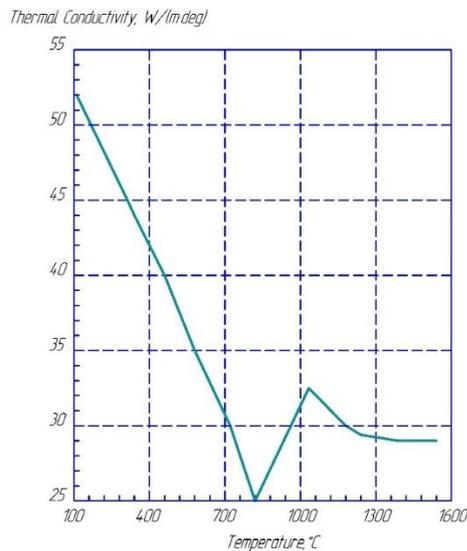
мұндағы:  $\Delta h$  - абсолютті төмендеу.

$$\Delta h = h_0 - h_1, \quad (2.5)$$

мұндағы:  $h_0, h_1$  - сәйкесінше жолақтың бастапқы және соңғы қалыңдығы.



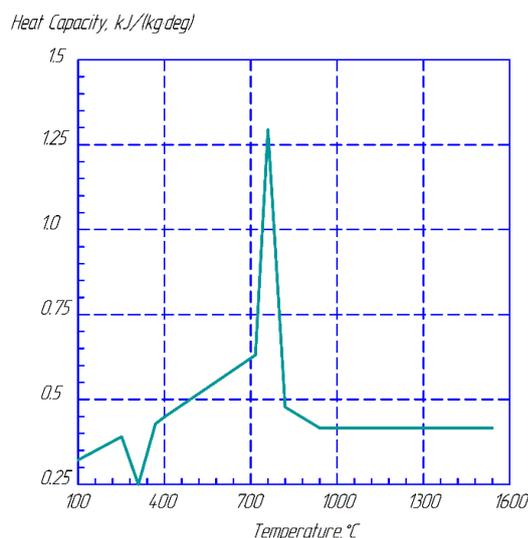
2.4 Сурет - "Ағымдағы кернеу-деформация" диаграммасы



2.5 Сурет - Температураға байланысты жылу өткізгіштік

Материалдың жылу өткізгіштігі және оның температураға тәуелділігі 2.5-суретте көрсетілген, онда температураның жоғарылауымен жылу өткізгіштік температура 800°C-қа жеткенге дейін төмендейді. Сонымен, өңдеу максималды жылу өткізгіштік жағдайында жүзеге асырылады.

Зерттелетін материалдың жылу сыйымдылығы өңдеу температурасына байланысты анықталды (2.6 Сурет). Графиктен өңделген Болаттың жылу сыйымдылығы 700°C температурада максималды мәндерді алатындығын көруге болады. 1000°C өңдеу температурасында жылу азаяды.



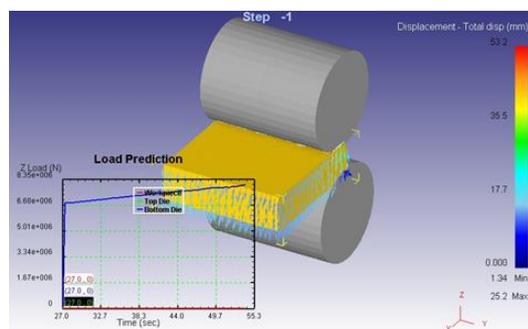
2.6 Сурет - Тәуелділік жылусыйымдылық болды температура

Осылайша, деформация ошағында болып жатқан процестерді зерттеу үшін қалың парақтарды Ыстықтай Илемдеу моделі жасалды.

Өңделген материалдағы деформациялардың таралуын зерттеу қысу кезінде оның ығысуын анықтауға мүмкіндік берді (2.7 Сурет). Суретте ығысу қашықтығы және оның деформация ошағында таралуы көрсетілген. Координаталық тордың қисықтығы бойынша материалдың ағымы 2.7-суретте көрінеді, оның бастапқы күйінен максималды ауытқу жоғарғы қабаттары бар деформация фокусының ортасында болғанын көрсетеді.

Деформация кезінде металдың ығысуының векторлық өрісі зерттелді (2.7 Сурет), бұл тор түйіндерінің жиырылуы мен ығысуы кезінде металдың қозғалыс бағытын көрсетеді. Модельдеу процесінде уақыт өте келе деформация күшінің өзгеру графигі жасалады, онда алғашқы 27 С ішінде күш нөлден 6,68 МПа-ға дейін артады, содан кейін күш баяу 8,35 МПа-ға дейін артады, ал металдың қозғалысы 1,34-тен 25,2 мм-ге дейін өзгереді.

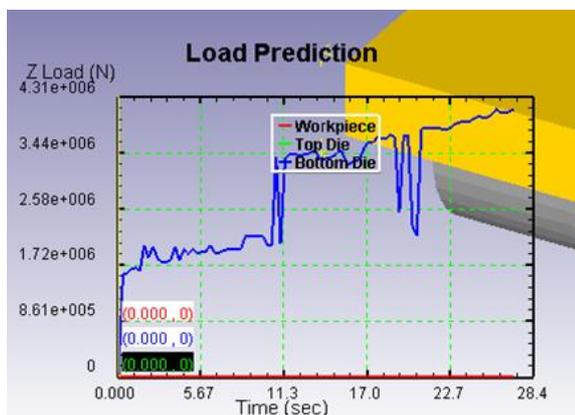
Модельдеу процесінде уақыт өте келе деформация күшінің өзгеру графигі жасалады, онда алғашқы 27 секунд ішінде күш нөлден 6,68 МПа-ға дейін өсетіні көрінеді.



2.7 Сурет - Деформация кезіндегі металдың ығысуының векторлық өрісі

Осыдан кейін күш баяу 8,35 МПа-ға дейін артады, ал металдың қозғалысы 1,34-тен 25,2 мм-ге дейін өзгереді.

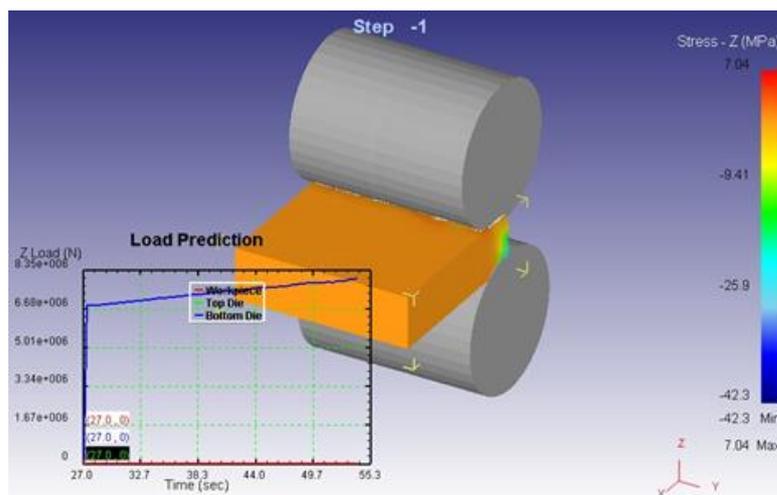
2.8-суретте роликке қолданылатын күштің өзгеру графигі көрсетілген, онда роликке қолданылатын күш 0-ден 4,1 МН-ге дейін, ал қозғалыс өрістері 27 мм-ге дейін өзгередіні көрсетілген. осы режимдер үшін нақты жағдайларда Илемдеу күші 4,4 МН-ге жетті [11], бұл модельдеудің жоғары дәлдігіне сәйкес келеді, мұнда қателік 6% құрайды.



2.8 Сурет - Роликке қолданылатын күштің өзгеруі

Қысыммен өңдеу кезінде өңделген материал біркелкі емес пластикалық деформацияны тудыратын біркелкі емес кернеуге ұшырайды. Илемдеу кезінде айналмалы және қалыпты кернеулер пайда болатындығы анықталды.

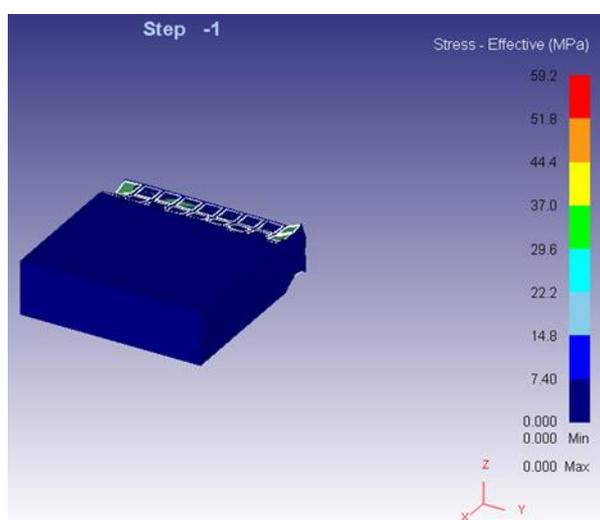
Деформация кезіндегі кернеудің өзгеруі зерттелді (10-сурет). Ыстық Илемдеу кезінде 10 мм-ден асатын үлкен қысқыштар біркелкі емес кернеулердің өнім сапасына әсерін төмендететіні анықталды.



2.9 Сурет - Деформация кезіндегі кернеудің өзгеруі.

Әрекет етуші кернеудің оның шамасы бойынша таралуы 2.9-суретте көрсетілген, онда деформация ошағындағы оның мәні 37 МПа-ға жететіні және сығылу шамасының азаюымен азаятыны көрінеді.

Энергия-күш параметрлерін зерттеу нәтижелерін талқылау және қалпына келтірудің ұтымды режимдерін анықтау. Осылайша, Deform 3D кешеніндегі процестерді ақырлы элементтік модельдеу арқылы ыстық Илемдеудің деформациялық-энергетикалық параметрлері зерттелді. Әзірленген модель Илемдеу кезінде металдың ығысу бағытын, деформация ошағын азайту кезінде күштің өзгеруін, қолданыстағы кернеудің таралуын және оның өзгеруін ескереді. Мұндай зерттеулер технологиялық схеманы жасауға мүмкіндік берді, оны қолдану дәлдікті арттыруға және энергияны ұтымды пайдалану кезінде металл өнімдерінің ішкі құрылымын жақсартуға мүмкіндік береді.



2.10 Сурет - Деформация ошағындағы әсер етуші кернеулердің таралуы

Зерттеулер жылжымалы режимге байланысты Илемдеу процесіне энергия шығынын анықтауға мүмкіндік берді, бұл ұтымды өңдеу режимдерін қолдануға мүмкіндік берді.

Энергия шығындарына илектелген дайындаманың кинетикалық энергиясы, беттік керілуді қалыптастыру және металды қатайту үшін деформация ошағындағы потенциалдық энергия, деформация энергиясы және металды қыздыру энергиясы кіреді [11].

Илектелген дайындаманың кинетикалық энергиясы формула бойынша анықталды [11]:

$$E_k = 0,5 \rho b * h * v * 3, \quad (2.6)$$

мұндағы:  $v$  – роликтің жылдамдығы;

$b$  – илемтан кейінгі жолақ ені;

$\rho$  – болаттың тығыздығы,  $\rho = 6860$  кг/м<sup>3</sup>.

Деформация ошағындағы беттік керілістің қалыптасуына және металдың беріктенуіне әлеуетті энергия шығындары мына формула бойынша анықталады:

$$E_p = 2b_1 h_1 v_1 \sigma_{ст} + V \sigma T / \tau, \quad (2.6)$$

мұндағы:  $V$  - деформация ошағының көлемі;

$\sigma_{ст}$  - беттік керілу;

$\tau$  - деформация ошағында металды табу ұзақтығы;

$\sigma T$  - аққыштық шегі.

Кернеу энергиясы:

$$A = \sigma T (E_h + E_b + E_l) b_1 h_1 R / \tau, \quad (2.7)$$

мұндағы:  $R$  – роликтер радиусы;

$E_h, E_b, E_l$  – кесу, кеңейту және ұзарту кезінде парақтың салыстырмалы деформациясы.

Илемты қыздыруға уақыт бірлігіндегі энергия шығындары:

$$Q = V \sigma T_i / \tau, \quad (2.8)$$

мұндағы:  $i$  – жылу сыйымдылық.

Уақыт бірлігіне энергияның жалпы тұтынылуын анықтау үшін аталған элементтердің қосындысы есептелді.

$$W = E_h + E_b + A + Q, \quad (2.9)$$

Зерттеу нәтижелері 2.1-кестеде келтірілген.

2.1 Кесте - ыстықтай Илемдеу процесінің энергосилдік параметрлері.

$h_0, \text{ mm}$	$h_1, \text{ mm}$	$b_1, \text{ mm}$	$v_1, \text{ m/s}$	$\frac{W}{\text{kJ/s}}$
300	255	1150	5,12	878474,2
500	400	1200	3,2	10144297

Мұндай зерттеулер жылжымалы технологиялардың тұрақты дамуын қамтамасыз ететін Ыстықтай Илемдеу әдісімен қалың табақты илемдеуді дайындаудың технологиялық процесін әзірлеу кезінде оңтайлы сығу режимдерін (2.1 Кесте) пайдалануға мүмкіндік берді.

Қалың парақтарды Ыстықтай Илемдеу процесін зерттеу кезінде келесі нәтижелер алынды:

- Deform 3D компьютерлік бағдарламасын қолдана отырып, қалың парақтарды Ыстықтай Илемдеу процесін зерттеуге мүмкіндік беретін

Металды қысыммен өңдеу процестерін зерттеу үшін соңғы элементтер әдісін қолдану мүмкіндігі талданды;

- Металды қысыммен өңдеу кезінде пайда болатын деформация ошағындағы физика-механикалық процестерді зерттеуге мүмкіндік беретін ыстықтай илемдеу процесінің моделі жасалды;

- деформациялық күш және оның деформация ошағында бөлінуі анықталды; жоғары сапалы өнім алуға мүмкіндік беретін қалың табақтарды ыстықтай Илемдеу кезінде энергия шығындары мен төмендетудің ұтымды режимдері нақтыланды;

- қалың парақтарды жасау кезінде қалың парақты илеу кезінде 6-8% энергияны үнемдеу үшін 2.1-кестеде қабылданған илемдеу режимдерін қолдану ұсынылады.

## 2.2 Суық Илемдеу әдісімен модельдеу

Илемдеу теориясының математикалық есептеулерінің жиынтығы теориялық білімнің жиынтығы болып табылады, бірақ зерттеу құралы емес, сонымен қатар нақты практикалық мәселелердің ұтымды немесе оңтайлы шешімдерін табу құралы емес. Есептеу әдістері мен алгоритмдері жаңа сапаға ие болуы үшін (Тиімді практикалық пайдалану мүмкіндігінен тұратын) қажетті шарт зерттеу, процестердің параметрлерін оңтайландыру, ұтымды практикалық шешімдерді іздеу, сондай-ақ процестерді басқару үшін кең мүмкіндіктерге ие компьютерлік жүйелер (компьютерлік модельдеу құралдары) түрінде теориялық есептеулерді іске асыру болып табылады.

Компьютерлік модельдеудің мұндай құралдарына Украинаның ҰҒУ қара металлургия институтының "Металлтехномаш" ЖШҚ-мен бірге парақты Илемдеу мәселелері бөлімінде жасалған бағдарламалық өнімдер кіреді. WinColdRolling (Украинаның Білім және ғылым министрлігінің Мемлекеттік зияткерлік меншік департаменті берген № 15149 туындыға авторлық құқықты тіркеу туралы куәлік, тіркеу күні 29.12.2005 ж.) – болат пен қорытпалардан жасалған жолақтарды суық Илемдеу және жаттықтыру процестерінің параметрлерін есептеу және оңтайландыру жүйесі [1-4]. Бағдарлама энергияны, кинематикалық, температуралық және көп жүрісті суық Илемдеу және жолақтарды жаттықтыру процестерінің басқа параметрлерін есептеуге, сондай-ақ Илемдеудың деформациялық-жылдамдық және жылу-күш режимдерін оңтайландыруға арналған.

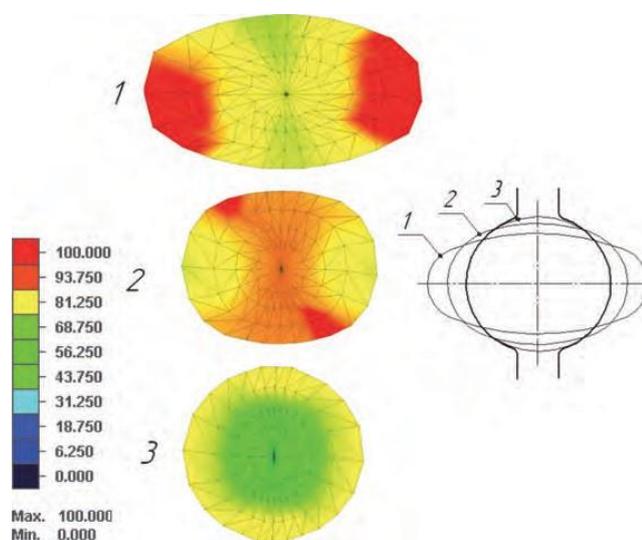
Процесті модельдеу үшін негіз ретінде диаметрі 5,5 мм созба сым өндірісінің технологиялық схемасынан бірінші аралық клеттер тобының № 7-8 жылжымалы клеттері таңдалды. бұл клеттерді таңдаудың орындылығы-бұл термоциклді және механикалық тозуды бір уақытта баорнақ кешіретін аралық топтың орамдары (шайбалары), ал өрескел топтың орамдары негізінен ұшырайды. тек термоциклді бұзылу әсеріне байланысты. Тегістеу жылдамдығының жоғарылауына байланысты әрлеу топтарының біліктері,

әдетте, механикалық әсерге ие болады. Сондықтан, жойылудың екі себептері әсер ететін учаске ретінде аралық топ үлкен қызығушылық тудырады.

Созба сымды екі калибрлеу бойынша Илемдеу процесінің екі барабар математикалық моделін құру қажет: базалық (қолданылатын) және жобалық (ұсынылатын). Модельдеу нәтижелері бойынша алынған нәтижелердің жеткіліктілігін бағалаңыз, сонымен қатар екі түрлі калибрлеуде сымды Илемдеу кезінде жолақтың кернеулі-деформацияланған, пластикалық және температуралық жағдайын талдаңыз.

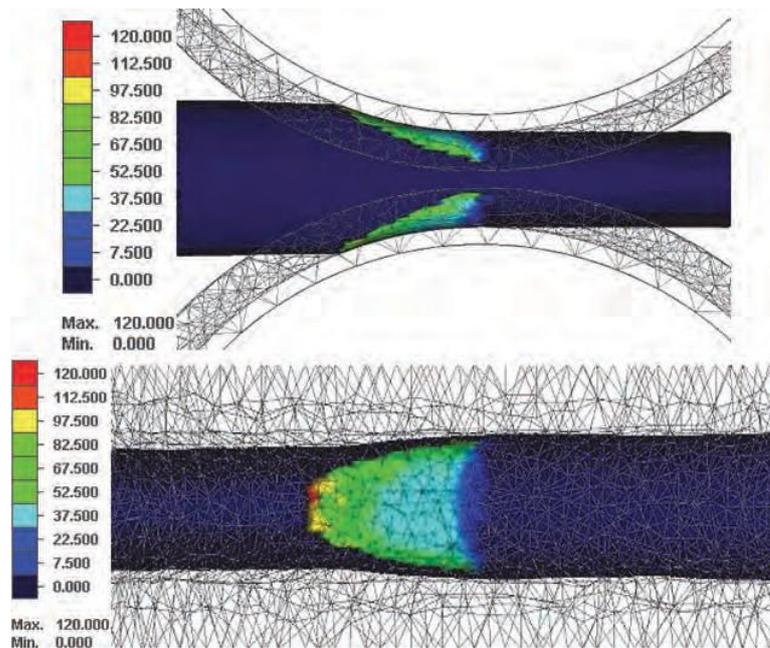
Бұл талдау мынадай параметрлерді салыстыру арқылы жүзеге асырылды: дөңгелек калибрдегі илектелген жолақтың кернеулі-деформацияланған күйін; дөңгелек калибрдегі деформация ошағы аймағындағы илектелген жолақтағы түйіспелі кернеулерді; қырлы сопақ калибрдегі жолақтың кернеулі-деформацияланған күйін; дөңгелек және қырлы сопақ калибрдегі пластикалық деформацияны. Илем клетінің 7/8 бөлігіне қатысты 150 диірменде диаметрі 5,5 мм созба сымды Илемдеу процесіне сәйкес келетін Илемдеу, калибрлеу және геометриялық өлшемдердің энергия күші параметрлерінің деректерін қолдана отырып, сопақ шеңбер калибрлеу жүйесінде Илемдеу процесінің жеткілікті сандық моделі жасалды.

Сопақ шеңбер калибрлеу жүйесінің кернеулі-деформацияланған күйін сандық модельдеу нәтижелері 2.11-суретте көрсетілген.



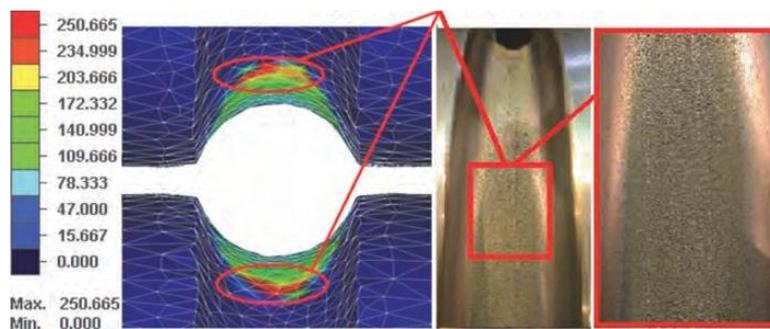
2.11 - Дөңгелек калибрлі сопақ шеңбер калибрлеу жүйесіндегі кернеуді бөлу

Суреттен ішкі кернеулердің созба сымның көлденең қимасында біркелкі бөлінбеуі байқалады. Орталық аймақ шекті (перифериялық) аймаққа карағанда аз кернеуге ие. Қимасы бойынша кернеулердің біркелкі болмауы осы созба сымды кейінгі бөліністерде Метиз өндірісінде қолдану кезінде қолайсыз салдарларға алып келеді. Әрі қарай, біз жылжымалы жолақтың үйкеліс кернеуін талдаймыз және тозуға бейім калибрдің орнын анықтаймыз.



2.12 Сурет - Дөңгелек калибрдегі жылжымалы жолақта үйкелістің түйіспелі кернеулерінің таралуы

2.13-суреттен жылжымалы жолақтағы үйкеліс кернеуі калибрдің ортасында шоғырланғанын көруге болады. Демек, жоғары тозу (өндіріс) дәл калибрдің ортасында болады. Илемдеудің дамыған математикалық моделінің жеткіліктілігін растау үшін біз № 7-8 клеттің орамымен өндірілген жиынтықтардың бетін модельдеу нәтижесімен салыстыру арқылы визуалды талдау жүргіземіз.



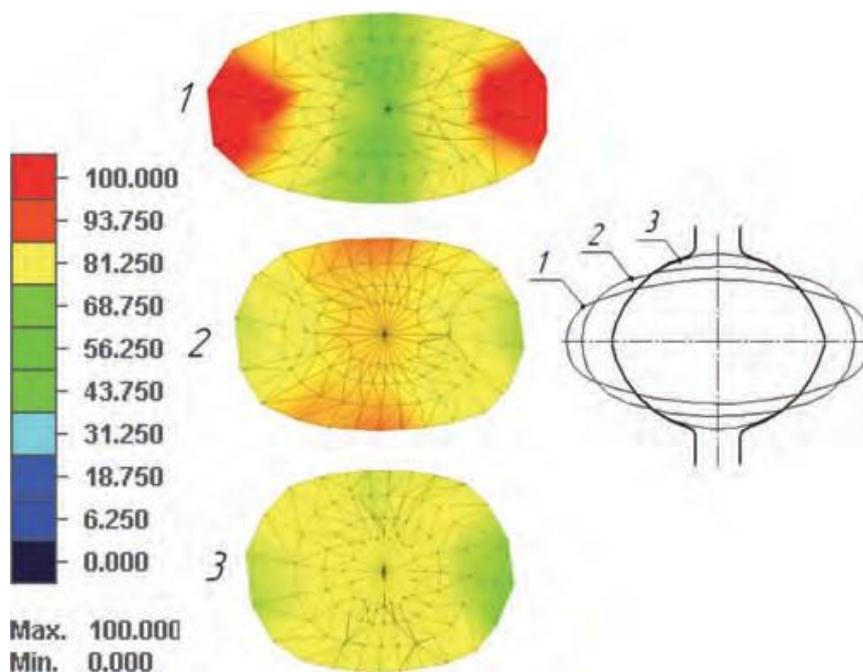
2.13 Сурет - № 8 клеттің илем калибріне арналған байланыс қысымы (шеңбер)

2.2-кестеде сопақша шеңбер калибрлеу жүйесінде негізгі Илемдеу процесінің энергия және жылдамдық параметрлері және модельдеу нәтижелері көрсетілген.

## 2.2 Кесте - негізгі Илемдеу процесінің энергосилдік және жылдамдық параметрлері

Калибрлеу	Параметр	$N$ , кВт	$M$ , кН·м	$P$ , кН	$n$ , айн/мин	$v$ , м/с
Овал-дөңгелек (базалық процесс)	7-я клеть	238	45,9	436	31,28	1,23
	8-я клеть	221	34,1	315	40,63	1,56
Овал-дөңгелек (модельденген процесс)	7-я клеть	231	42,3	430	32,58	1,21
	8-я клеть	224	31,8	312	41,43	1,54

Сопақ шеңбер калибрлеу жүйесінің кернеулі-деформацияланған күйін сандық модельдеу нәтижелері 2.14-суретте көрсетілген.



2.14 Сурет - Қабырғалық сопақ калибрлеу жүйесіндегі кернеулердің таралуы сопақ-қабырға сопақшасы

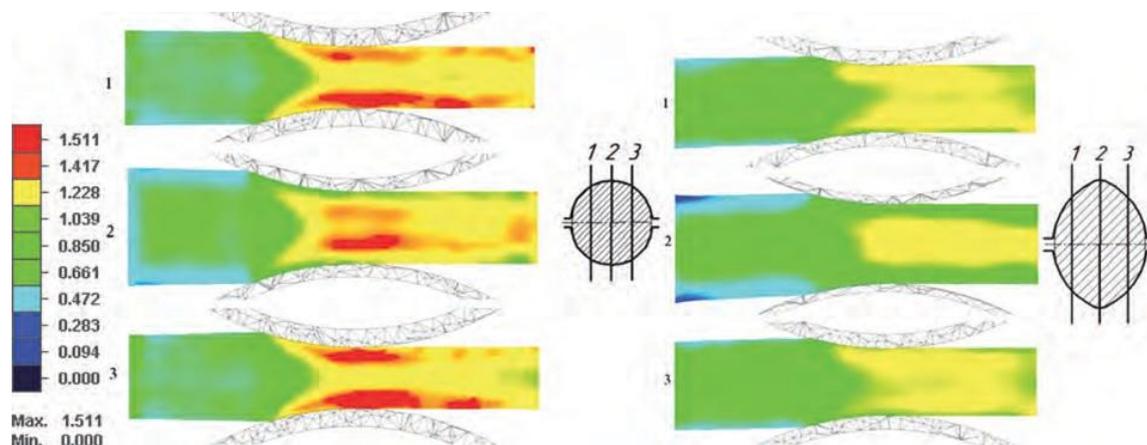
Дөңгелек калибрдегі кернеудің таралуымен салыстырғанда, сопақша калибрлеу жүйесіндегі сопақ шеңбер сопақша калибрде кернеу градиенті бүкіл көлденең қимада біркелкі бөлінеді. Бұл құбылыс қабырға сопақшасының калибрінің қолайлы формасымен байланысты, бұл илектелген металды біркелкі араластыруға қол жеткізуге және көлденең қимада кернеудің біркелкі таралуын алуға мүмкіндік береді.

Алынған нәтижелерге сәйкес келесі қорытынды жасауға болады: сопақша-қырлы сопақша калибрлеу жүйесін қолдану жылжымалы жолақта кернеу мен температураның біркелкі таралуына қол жеткізуге мүмкіндік береді; илемтың сапасы мен механикалық сипаттамаларын жақсартатын біркелкі металл құрылымын алыңыз; кернеудің біркелкі таралуы орам

калибрлерінің біркелкі тозуына ықпал етеді, бұл олардың қызмет ету мерзімін арттыруға мүмкіндік береді.

Жылжымалы жолақтың үш бойлық қимасы бойымен дөңгелек және қабырғалы сопақша калибрдегі пластикалық деформацияны қарастырыңыз.

Илемтан кейін дайындаманы сандық модельдеудің нәтижелері 2.15-суретте көрсетілген.

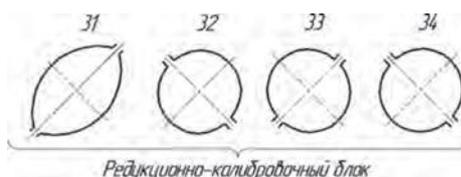


2.15 Сурет - Домалақ (А) және қырлы сопақша (Б) калибрдегі домалатылатын жолақтың үш бойлық қимасы бойынша пластикалық деформация

Суреттен дөңгелек калибрде Илемдеу кезіндегі пластикалық деформация гетерогенді сипатқа ие, металдың неғұрлым қарқынды ағымының бөліктері бар; сопақша калибрдегі пластикалық деформацияның бойлық қимадағы пластикалық деформация градиентінен көрінетін біркелкі таралуы бар. Осыған сүйене отырып, жалға берудің көлденең қимасы бойынша біркелкі құрылым мен қасиеттерді бағалауға болады.

Сопақша шеңбер калибрлеу жүйесінде Илемдеу кезінде жолақтың кернеулі-деформацияланған күйіне, сондай-ақ сопақ-қабырға сопақшасын калибрлеу жүйесіне сәйкес модельдеу нәтижелерін талдағаннан кейін, "BMZ" ААҚ 150 диірменінде сопақ-қабырға сопақшасын калибрлеу жүйесін қолданған жөн.

Базалық калибрлеу схемасына сәйкес (сопақ – шеңбер) редуциялық-калибрлеу блогында 2.16-суретте көрсетілген калибрлер (сопақ-шеңбер – шеңбер-шеңбер) комбинациясы қолданылады.



2.16 Сурет - Диаметрі 5,5 мм созба сымды Илемдеудың соңғы төрт өтуінің калибрлеу схемасы (базалық калибрлеу)

Ұсынылатын калибрлеу (сопақ – қырлы сопақ) Илемдеудың соңғы өту жолдарында және редукциялық-калибрлеу блогында пайдаланылуы мүмкін (2.17 Сурет).



2.17 Сурет - Диаметрі 5,5 мм созба сымды Илемдеудың соңғы алты өтуінің калибрлеу схемасы (ұсынылатын нұсқа)

Калибрлердің бұл комбинациясы дайын илемтың құрылымы мен механикалық қасиеттерінің біртектілігінің түпкілікті қалыптасуына оң әсер етеді.

Математикалық модельдеуді талдау сопақ – қабырға сопақшасын калибрлеуді қолдану сопақша жолақтың сопақ калибрінің ені бойынша деформацияның біркелкілігіне байланысты, сондай-ақ сопақша калибрдегі біркелкі деформацияның арқасында бетінің сапасын арттырып қана қоймай, сонымен қатар микро деңгейдегі илемтың көлденең қимасы бойынша біркелкі құрылым алуға мүмкіндік беретінін дәлелдейді.

### 3 Илемдеу процесінің энергосилдік параметрлерін есептеу әдістемесі

#### 3.1 Деформация фокусының моделін негіздеу

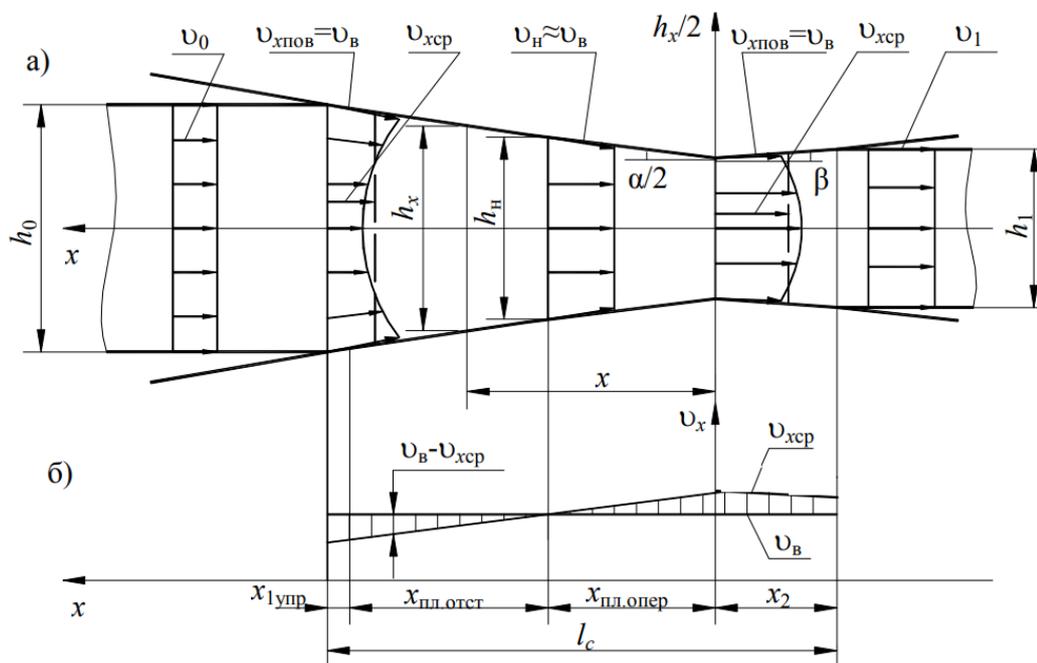
Ыстық Илемдеу кезіндегі деформация ошағындағы металдың кернеулі-деформацияланған күйінің маңызды ерекшеліктерінің бірі оның ұзындығының көп бөлігі жабысу аймағы болып табылады, ол жолақ пен орамдардың жанасатын беттерінің салыстырмалы сырғуының болмауымен сипатталады [1-7]:

$$v_{xпов} = v_{\theta}, \quad (3.1)$$

мұндағы:  $v_{\theta}$  – бөшкенің айналу жылдамдығы;

$v_x$  – ораммен жанасатын жолақтың беткі қабатының қозғалыс жылдамдығы.

Ыстық Илемдеу кең жолақты диірмендердің деформация ошақтарының тағы бір маңызды ерекшелігі – бұл ошақтардың серпімді аймақтарының едәуір ұзындығы, әсіресе жолақ қалыңдығының бір бөлігі қалпына келетін екінші серпімді аймақ. Таза топтардың алғашқы клеттерінде деформация ошағының жалпы ұзындығынан осы учаскелердің ұзындығының үлесі 1-2% - ды құрайды, ал соңғы клеттерде ол 15-17% - ға дейін ұлғаяды.



3.1 Сурет - Кең жолақты ыстық Илемдеу орнағының жұмыс клетінің деформация ошағының схемасы және жолақ жылдамдығының өзгеру кестесі

Сондықтан кең жолақты диірмендерде Ыстықтай Илемдеу кезінде жұқа жолақтардың кернеулі-деформацияланған күйін модельдеудің сенімді нәтижелерін тек деформация ошағының серпімді пластикалық моделі негізінде алуға болады, оған сәйкес фокус үш бөлімнен тұрады (3.1 Сурет):

1) Серпімді қысу белдеуін ұзындығы  $x_{1уп}$ .

2) Пластикалық деформация бүкіл жабысу аймағын білдіретін СПЛ ұзындығымен. Жабысу құбылысына байланысты пластикалық аймақта жолақтың беткі қабатының жылдамдығы тұрақты болғанына қарамаорнақ, ихср жолағының орташа қалыңдығына қатысты жағдайлар орындалады:

$$\text{кезінде } h_x > h_H \quad v_{хср} < v_B;$$

$$\text{кезінде } h_x < h_H \quad v_{хср} > v_B,$$

мұндағы  $h_H$  – бейтарап қимадағы жолақтың қалыңдығы.

Сондықтан, жолақтың қалыңдығындағы орташа жылдамдыққа қатысты пластикалық аймақ екі аймақтан тұрады – ұзындығының артта қалуы  $x_{пл.отст}$  және ұзындығымен озуы  $x_{пл.опер}$ .

3) Деформация ошағынан шығу жолындағы жолақ қалыңдығының бір бөлігін серпімді қалпына келтіру  $x_2$ .

Деформация ошағының алғашқы серпімді және пластикалық учаскелерінің ұзындығы 3.1-кестенің формулалары бойынша анықталады.

3.1 Кесте - Деформация ошақтарының құрылымдық параметрлері

Атауы	Белгісі, Өлшем	Формула
Алғашқы серпімді және пластикалық аймақтардың ұзындығының қосындысы	$x_{1уп} + x_{пл}$ , мм	$\frac{\Delta h_i + \Delta h_{2упр}}{2(x_{1упр} + x_{пл})}$
Деформация ошағының ұзындығы	$l_{ci}$ , мм	$x_{1упр} + x_{пл} + x_2$
Бірінші серпімді бөліктің ұзындығы	$x_{1упр}$ , мм	$\frac{\Delta h_{1упр} (x_{1упр} + x_{пл})}{\Delta h_i + \Delta h_{2упр}}$
Пластикалық бөліктің ұзындығы	$x_{пл}$ , мм	$\frac{\Delta h_{2упр}}{x_{пл}}$
Пластикалық аймақтың озу аймағының ұзындығы	$x_{пл.опер}$ , мм	$\frac{h_{H1} - h_i + \Delta h_{2упр}}{2tg(\alpha / 2)}$
Пластикалық бөліктің артта қалу аймағының ұзындығы	$x_{пл.отст}$ , мм	$x_{пл} - x_{пл.опер}$
Бұрыштардың тангенстері $\alpha/2, \beta$	$tg(\alpha/2)$	$\frac{\Delta h_i + \Delta h_{2упр}}{2(x_{1упр} + x_{пл})}$
	$tg\beta$	$\frac{\Delta h_{2упр}}{2x_2}$

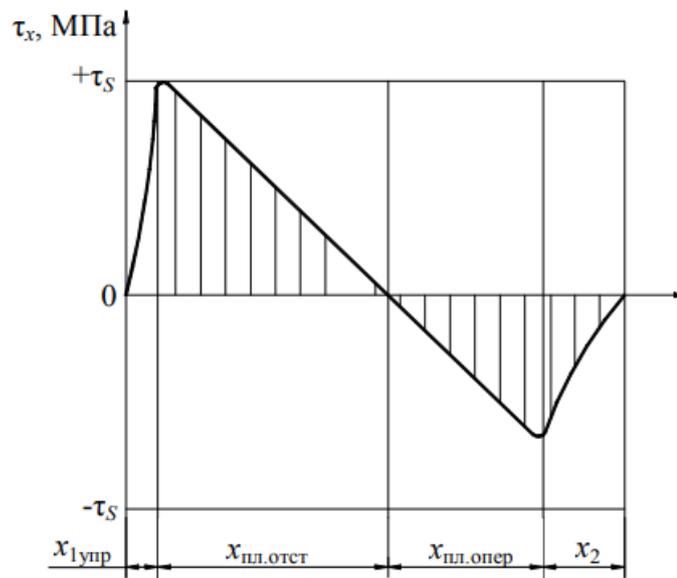
Екінші серпімді учаскенің ұзындығы герцтің формуласы бойынша анықталады:

$$x_2 = 8\rho_{cp}R\left(\frac{1-\nu_B^2}{\pi E_B} - \frac{1-\nu_{II}^2}{\pi E_{II}}\right), \quad (3.2)$$

мұндағы:  $\rho_{cp.c}$  – қалыпты байланыс кернеулерінің орташа мәні;  
 $R$  – жұмыс білігінің баррель радиусы;  
 $\nu_B, \nu_{II}$  – коэффициенті Пуассон материалды орамдар және жолақтар;  
 $E_B, E_{II}$  – модуль серпімділік материалдың орамдары және жолақтар.

### 3.2 Деформация ошағындағы тангенс кернеулерінің ұсынылған моделі

Жабысу аймағындағы үйкеліс жағдайларының тән ерекшелігі-ондағы қалыпты және тангенциалды байланыс кернеулері жылжымалы үйкеліс коэффициентіне іс жүзінде тәуелді емес, бірақ жолақ материалының таза ығысуына және  $\nu_{xcp}$  жолағының жылдамдығы (әр көлденең қимадағы Орташа) мен  $\nu_B$  орамдарының бөшкесінің айналу жылдамдығы арасындағы айырмашылыққа байланысты.



3.2 Сурет - Деформация ошағындағы жанаспалы кернеулердің өзгеру графигі

Жолақтың кернеулі-деформацияланған күйінің ерекшеліктерін ескере отырып, түйіспелі кернеулерді есептеудің әзірленген әдістемесінде үйкеліс кернеулерінің мынадай моделі ұсынылған (3.2 Сурет):

а) деформация ошағының серпімді учаскелерінде ұзындығы  $x_{1упр}$  және  $x_2$  сырғу үйкелісі заңы қолданылады:

$$\tau_x = \mu p_x, \quad (3.3)$$

мұндағы:  $\mu$  – үйкеліс коэффициенті.

б) жабысу аймағы болып табылатын пластикалық аймақта тангенс кернеулері өрнекке сәйкес бейтарап қимадағы  $\tau_x = 0$  мәнінен өтіп, максималды  $\tau_{x\max} = \tau_s$  мәнінен минималды  $\tau_x \geq -\tau_s$  мәніне дейін сызықты түрде өзгереді:

$$\tau_x = \tau_s \left( \frac{h_x - h_n}{h_{1\text{ypp}} - h_n} \right), \quad (3.4)$$

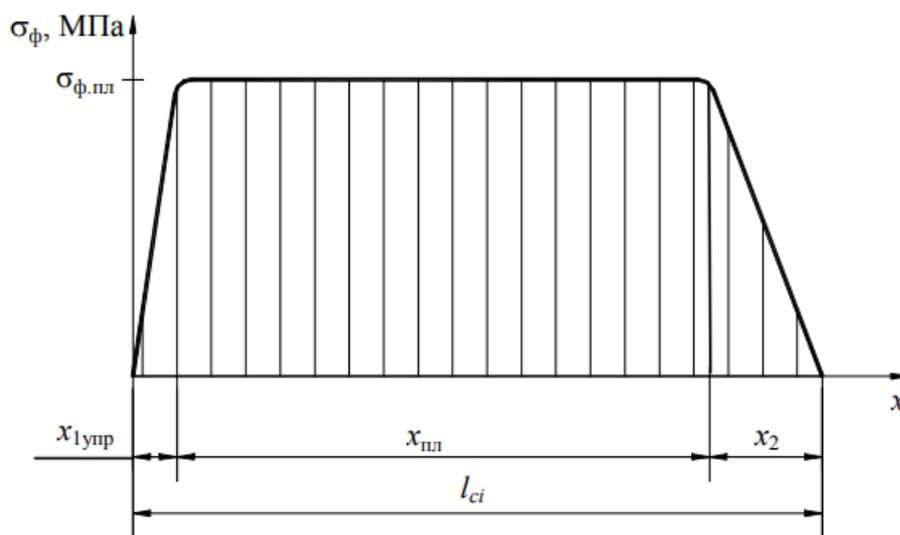
мұндағы:  $h_{1\text{ypp}}$  - бірінші серпімді және пластикалық аймақтардың шекарасындағы жолақтың қалыңдығы.

### 3.3 Деформацияға төзімділік моделі

Тангенс кернеулерінің моделінен басқа, байланыс кернеулерін есептеу үшін жолақтың деформациясына төзімділік моделі үлкен мәнге ие. Бұл жұмыста деформацияға төзімділіктің келесі моделі ұсынылған (3.3 Сурет): серпімді учаскелерде – Гук Заңына сәйкес сызықтық өзгеріс, пластикте-шамамен тұрақты ( $\sigma_{\text{ф.пл}}$ ), өйткені ыстық илемдеу кезінде металды қатайту процестерімен қатар оның қайта кристалдану процестері жүреді.  $\Sigma\text{ф}$  есептеу үшін белгілі формулаларды егжей-тегжейлі талдағаннан кейін.Л. в. Андрейктің формуласы негіз ретінде қабылданды:

$$\sigma_{\text{ф.пл}} = S\sigma_{od}u^a (10\varepsilon_i)^b (t_i/1000)^c, \quad (3.5)$$

мұндағы:  $S$ ,  $a$ ,  $b$ ,  $c$  – пластометрдегі сынақ нәтижелері бойынша Болаттың әрбір маркасы үшін анықталатын тұрақты сандар;  
 $t_i$  – I-ші клеттен шығудағы жолақтың температурасы.



3.3 Сурет - Ыстық Илемдеу кең жолақты диірменінің І-ші клетіндегі байланыс доғасының ұзындығы бойымен деформацияға төзімділіктің өзгеруінің схемалық графигі

Әр бөлімдегі байланыс кернеулерін есептеу үшін үш теңдеу жүйесі құрылды:

1) деформация ошағындағы жолақтың тепе-теңдігінің дифференциалдық теңдеуі;

2) үйкеліс кернеулерінің өзгеру заңын білдіретін теңдеу: серпімді учаскелерде-өрнек (1); пластикте-артта қалу және ОЗУ аймақтары үшін бірыңғай өрнек (2);

3) серпімділік немесе икемділік жағдайын білдіретін теңдеу.

Бұл жүйенің және Э. А. Гарбер мен И. А. Кожевникованың суық илемдеу орнақтарының деформация ошақтарындағы байланыс кернеулерін есептеу үшін жасаған ұқсас жүйеден басты айырмашылығы-пластикалық аймақта (2) теңдеуді қолдану, жабысу аймағындағы үйкеліс кернеулерін есептеу (суық илемдеу кезінде, жабысу аймағының болмауына байланысты, бүкіл фокус үшін деформация жылжымалы үйкеліс Заңын қолданады (1). Әрбір учаскедегі көрсетілген жүйе  $PX(hx)$  қалыпты байланыс кернеулеріне қатысты бірінші ретті бір дифференциалдық теңдеуге дейін азаяды. Бұл теңдеуді нақты шекаралық жағдайларда шеше отырып, деформация ошағының әр бөлімі үшін  $PX(hx)$  есептеу формулалары алынады, оларды біріктіре отырып, қалыпты байланыс кернеулерінің орташа мәндерін есептеу үшін өрнектер алынады (3.2-кесте).

### 3.2 Кесте - Қалыпты байланыс кернеулерінің орташа мәндерін есептеуге арналған формулалар

Учаскесі	Формула
Серпімді телімшесі $x_{1ynp}$	$p_1 = 1,15E_{II} \left\{ \frac{1}{\delta_{i-1}} + \frac{L}{\delta_{i-1} + 1} \left[ \left( \frac{\delta_{i-1} - 1}{(\delta_{i-1} + 1)\delta_{i-1}} - \frac{\sigma_{i-1}}{1,15E_{II}} \right) (D^{\delta_{i-1} + 1} - 1) - 2 \ln D \right] \right\},$ $\delta_{i-1} = \frac{\mu_i}{\operatorname{tg} \alpha / 2}; \quad D = \frac{E_{II}}{E_{II} - \sigma_{\phi, n_i}}; \quad L = \frac{E_{II} - \sigma_{\phi, n_i}}{\sigma_{\phi, n_i}}$
Ұзындығы жабысқақ аймақ $x_{n_i}$	$p_{23} = \frac{2\tau_s}{h_{2ynp} - h_{1ynp}} \left\{ \left[ 1 + \frac{0,5}{\operatorname{tg} \alpha / 2} \frac{h_n}{(h_{1ynp} - h_n)} \right] [h_{2ynp} (\ln h_{2ynp} - 1) - h_{1ynp} (\ln h_{1ynp} - 1)] - \frac{0,25}{\operatorname{tg} \alpha / 2} \frac{(h_{2ynp}^2 - h_{1ynp}^2)}{(h_{1ynp} - h_n)} + \frac{p_{1ynp}}{2\tau_s} + \frac{0,5}{\operatorname{tg} \alpha / 2} \frac{h_{1ynp}}{(h_{1ynp} - h_n)} - \left[ 1 + \frac{0,5}{\operatorname{tg} \alpha / 2} \frac{h_n}{(h_{1ynp} - h_n)} \right] \ln h_{1ynp} (h_{2ynp} - h_{1ynp}) \right\}$
Ұзындығы серпімді бөлім $x_2$	$p_4 = 1,15E_{II} \left\{ \frac{1}{\delta_i} + \frac{L}{\delta_i + 1} \left[ \left( \frac{\delta_i - 1}{(\delta_i + 1)\delta_i} - \frac{\sigma_i}{1,15E_{II}} \right) (D^{\delta_i + 1} - 1) - 2 \ln D \right] \right\}$

Ескерту.  $\sigma_{i-1}$ ,  $\sigma_i$  – артқы және алдыңғы меншікті керулер;  $h_{1ynp}$  – бірінші серпімді және пластикалық учаскелердің шекарасындағы жолақтың қалыңдығы;  $h_{2ynp}$  – екінші серпімді және пластикалық учаскелердің шекарасындағы жолақтың қалыңдығы;  $p_{1ynp}$  – қимадағы бірінші серпімді учаске үшін  $p_x(h_x)$  теңдеуі бойынша есептелген қалыпты байланыс кернеуінің мәні, мұндағы  $h_x = h_{1ynp}$ .

Үш аймақтың әрқайсысында белгілі кернеулердің орташа мәндеріне сәйкес, бүкіл деформация ошағы үшін орташа қалыпты байланыс кернеуі мен Илемдеу күші формулалар бойынша есептеледі:

$$p_{cpi} = \frac{1}{l_{ci}} (p_1 x_{1ynp} + p_{23} x_{n_i} + p_4 x_2) \quad (3.6)$$

мұндағы:  $\beta$  – коэффициент Лодэ,  $\beta = 1,15$ .

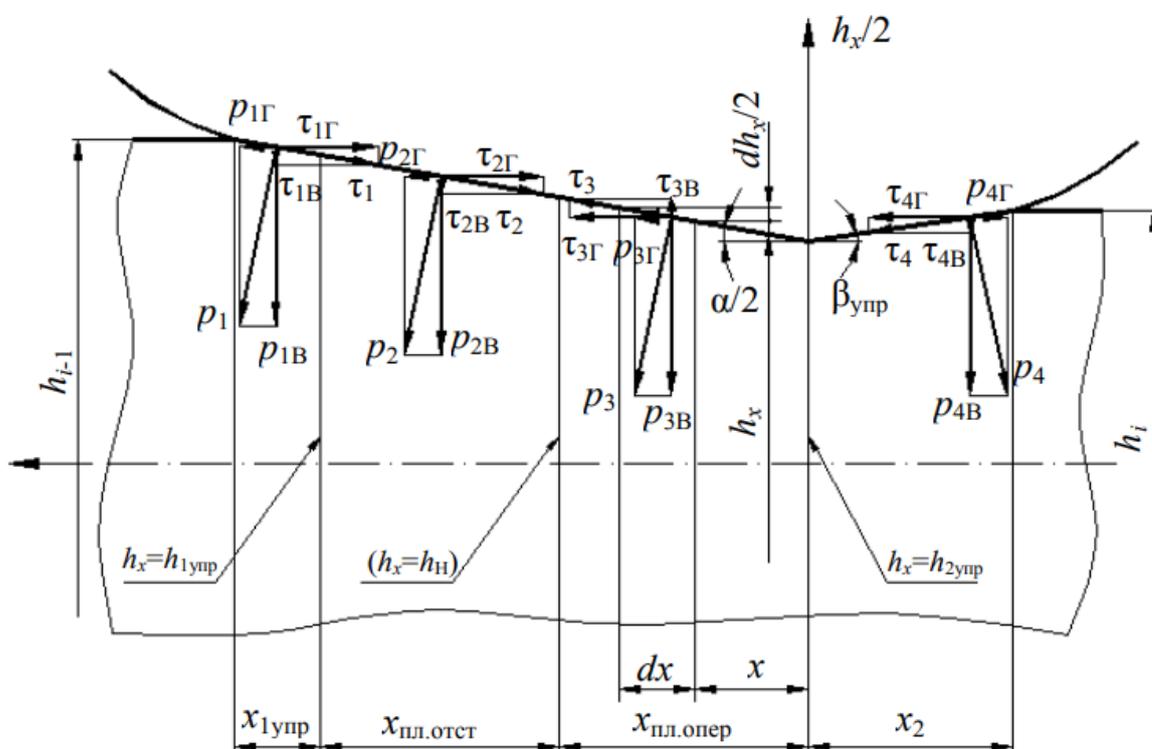
### 3.4 Жылжымалы қуатты анықтау

Біз қабылдаған ыстық илемдеу қуатын есептеу әдісі Э. А. Гарбер мен И. А. Кожевникова суық илемдеу диірмендері үшін жасаған әдіске ұқсас, ыстық илемдеу жағдайлары үшін ол бұрын қолданылмаған. Бұл әдіс 3.4-суретте көрсетілген деформация ошағының схемасына негізделген. Схемаға сәйкес деформация ошағы екі серпімді аймақтан және олардың арасында орналасқан бір пластиктен тұрады.

Серпімді учаскелерде қалыпты РХ және тангенс кернеулері  $\tau_x$  үйкеліс Заңымен байланысады (1).

Пластикалық аймақ ХРЛ ұзындығы бар артта қалу және басып озу аймақтарынан тұрады және ТСТ және хпл.опера толығымен жабысқақ аймақта орналасқан, сондықтан жолақ пен орамдардың беті арасында сырғанау жоқ, яғни жолақ пен орамдардың түйісуінде тыныштық үйкелісі болады. Осы учаскедегі тангенс кернеулері тәуелділікке сәйкес өзгереді (2).

Илемдеу қуатын анықтау үшін, 3.4-суреттің жобалық схемасына сәйкес, деформация ошағының әр бөлімі үшін Илемдеу осіне параллель және осы оське перпендикуляр бағытта қалыпты және тангенс күштерінің жұмысын қорытындылау арқылы Илемдеудың нақты жұмыстарының өрнектері алынды.



3.4 Сурет - Үйкеліс күштерінің жұмысын және деформация ошағының серпімді пластикалық моделін ескере отырып, Илемдеу қуатын анықтауға арналған жобалық схема

### 3.3 Кесте - Осылайша алынған илемдеудің нақты жұмыстарының өрнектері

Учаскесі	Формула
Ұзындығы серпімді бөлім $x_{1упр}$	$a_1 = \tau_1 \left( \frac{1}{tg\alpha / 2} + tg\alpha / 2 \right) \ln \frac{h_{i-1}}{h_{1упр}}, (\tau_1 = \mu p_1)$
Ұзындығы артта қалған аймақ	$a_2 = \frac{\tau_s}{2} \left( \frac{1}{tg\alpha / 2} + tg\alpha / 2 \right) \ln \frac{h_{1упр}}{h_n}$
Озу аймағы ұзындығы	$a_3 = -\frac{\tau_s}{2} \left( \frac{h_n - h_{2упр}}{h_{1упр} - h_n} \right) \left( \frac{1}{tg\alpha / 2} + tg\alpha / 2 \right) \ln \frac{h_n}{h_{2упр}}$
Ұзындығы серпімді бөлім $x_{2упр}$	$a_4 = -\tau_3 \left( \frac{1}{tg\beta_{упр}} + tg\beta_{упр} \right) \ln \frac{h_i}{h_{2упр}}, (\tau_3 = \mu p_3)$

Деформация ошағының әрбір учаскесінде біліктер жасайтын жолақтарды Илемдеу жұмыстарының үлестік формулалары (3.3-кесте)

Бұл өрнектердің Э. А. Гарбер мен И. А. Кожевникованың суық илемдеу диірмендері үшін алынған Илемдеудің нақты жұмыстарының формулаларынан басты айырмашылығы-пластикалық аймақта А2 және А3 мәні үйкеліс коэффициентіне тәуелді емес.

3.3-кестеде келтірілген өрнектерді талдау келесі тұжырымдарға негіз береді:

1) Жұмыс және жылжымалы қуат тек тангенс кернеулерінен туындаған тангенс күштеріне байланысты; жұмыс қалыпты байланыс кернеулеріне тікелей байланысты емес.

2) біліктердің пайдалы жұмысын тек бірінші серпімді учаскеде және артта қалу аймағында, ал алға және екінші серпімді аймақта жолақ білікшелерге жұмсалған энергияның бір бөлігін қайтарады (А3 және а4 мәні теріс).

I-ші клеттің біліктері арқылы өту кезінде жолақты Илемдеудің үлестік жұмысы 3.3-кестеде көрсетілген үлестік жұмыстардың сомасын білдіреді:

$$a_{пр} = a_1 + a_2 + a_3 + a_4. \quad (3.7)$$

I-ші клеттегі жолақты Илемдеу қуаты белгілі формула бойынша есептеледі:

$$N_{при} = a_{при} \cdot v_i \cdot h_i \cdot b. \quad (3.8)$$

### 3.5 "Кварто" клетінің басты жетегі қозғалтқыштарының моменті мен қуатын есептеу

Ыстық және суық Илемдеудың үздіксіз кең жолақты орнақтарының "кварто" клеттері құрылымы бойынша бірдей болғандықтан, негізгі жетектің параметрлерін есептеу үшін жылжымалы үйкелістің жоғалуын ескере



$M_p$  – жұмыс біліктерін жетекке алу үшін қажетті сәт (екпіндеу және тежеу кезіндегі Инерция сәтін есепке алмағанда):

$$M_p = M_{np} + M_{нат} + M_{mp.n} + M_{он}, \quad (3.11)$$

мұндағы:  $M_{np}$  – илемка моменті;

$M_{нат}$  – момент күштер керілу жолақтары;

$M_{тр.п}$  – жұмыс орамдарының мойынтіректеріндегі үйкеліс моменті;

$M_{он}$  – бос тіректерді айналдыру үшін қажет сәт.

Төменде көрсетілген сәттердің әрқайсысын анықтау әдістері келтірілген.

Илемдеу моментін Илемдеу қуаты арқылы ең сенімді түрде есептеуге болады:

$$M_{np} = \frac{N_{npi}}{\omega_p}. \quad (3.12)$$

Артқы және алдыңғы кернеу күштерінің айырмашылығынан пайда болатын момент:

$$M_{нат} = \Delta N \frac{D_p}{2}, \quad (3.13)$$

мұндағы:  $\Delta N = N_0 - N_1$  – жолақтың артқы және алдыңғы керілу күштерінің айырмасы;

$D_p$  – жұмыс білігінің баррель диаметрі.

Жұмыс орамдарының мойынтіректеріндегі үйкеліс моменті формула бойынша анықталады:

$$M_{mp.n} = \mu_{n.p} \frac{d_{n.p}}{2} [\Delta N - 2P \cdot \operatorname{tg}(\theta + \gamma)], \quad (3.14)$$

мұндағы:  $\mu_{n.p}$  – жұмыс орамдарының мойынтіректеріндегі үйкеліс коэффициенті;

$d_{n.p}$  – осы мойынтіректердің жұмыс диаметрі;

$P$  – Илемдеу күші;

$\theta$  – білікаралық күштің әрекет жазықтығы мен біліктердің осьтері орналасқан жазықтық арасындағы бұрыш;

$\gamma$  – тірек орамының тік осьтік жазықтығы мен жұмыс орамдарының осьтері арқылы өтетін жазықтық арасындағы бұрыш.

Бос тірек орамаларын жүргізу үшін қажет сәт:

$$M_{он} = \frac{2P}{\cos(\theta + \gamma)} \cdot \left[ \frac{D_p}{2} \sin\theta + cb_{он} \cdot \cos\theta \right], \quad (3.15)$$

мұндағы:  $c$  – жылжымалы үйкеліс иығының өлшемсіз коэффициенті;  
 $b_{on}$  – білік аралық байланыс алаңының енінің жартысы.

Жылжымалы үйкеліс иығының коэффициентін анықтау үшін олар ыстық және Илемдеу режимдерінің технологиялық және энергетикалық параметрлері туралы мәліметтер базасын құрды, онда келесі мәліметтер бар: қысу; жасушааралық кернеу; Илемдеу жылдамдығы; байланыс кернеулері; Илемдеу күші мен қуаты; жылжымалы үйкеліс иығының коэффициентінің шамасы, онда жұмыс клетінің қозғалтқыш қуатының өлшенген және есептелген мәндерінің арасындағы айырмашылық минималды болады; максималды білікаралық байланыстағы қалыпты кернеу; жұмыс және тірек орамдарының салыстырмалы бұрыштық жылдамдығы.

Алынған мәліметтер базасы "Statistica" бағдарламалық жасақтамасының көмегімен өңделді, нәтижесінде регрессиялық теңдеу алынды:

$$c = 1,256938 - 0,000409p_0 - 0,047173\omega_{отн}. \quad (3.16)$$

Алынған теңдеудің сенімділігі Фишер өлшемімен ( $\alpha=0,05$  маңыздылық деңгейінде критерийдің есептік мәні оның кестелік мәнінен асып кетті) және  $R^2 = 0,82$  көп детерминация коэффициентімен расталады.

Аталған әдістемені қолданыстағы ыстықтай илемдеу орнағында апробациялау мынадай қорытынды жасауға мүмкіндік берді:

1) Ыстық Илемдеу кезінде өлшемсіз коэффициентінің мәні 0,27-0,66 диапазонда, ал тербеліс үйкелісі коэффициенттерінің шамасы 1,6 – 4,95 мм диапазонда болады, бұл ретте орамаралық байланыста тербеліс үйкелісіне жұмсалатын қуат жұмыс клеттері қозғалтқыштарының жиынтық қуатының 29-68%-ын құрайды.

2) Бос тіреуіш орамдарды жүргізу үшін қажетті моменттің 83-93% жылжымалы үйкелісті жеңуге жұмсалады және осы сәттің тек 7-17% жылжымалы үйкеліске байланысты емес.

## 4 Илемдеу процесін энергосилдік есептеудің әдістемесінің дұрыстығын зерттеу

### 4.1 Ыстықтай Илемдеу процесін энергосилдік есептеудің жаңа әдістемесінің дұрыстығын зерттеу

Энергетикалық қуатты есептеудің әзірленген әдістемесін үздіксіз орнақта өнеркәсіптік апробациялау. Әзірленген Әдістеменің дұрыстығын тексеру үшін оның бағдарламалық жасақтамасы жүзеге асырылды.

Тәжірибелік мәліметтерді алу үшін "Северсталь" ААҚ-ның "Чермак "6-клеттік"1700" орнағында ыстықтай Илемдеу режимдерін зерттеу жүргізілді. Нәтижесінде әртүрлі профильдер мен болат маркаларын Илемдеудың 34 нақты режимі туралы ақпарат бар компьютерлік мәліметтер базасы құрылды.

Жаңа техниканы қолдана отырып, барлық нақты режимдер үшін байланыс кернеулерінің мәні, Илемдеу күштері мен Илемдеу қуаты, сондай-ақ жұмыс жасушаларының негізгі жетегінің қозғалтқыштарының қуаты есептелді.

Күш пен қуаттың есептелген мәндері өлшенгендермен салыстырылды, нәтижесінде есептеу әдісінің дәлдігін бағалау үшін қажетті энергия-күш параметрлерін есептеудегі бірқатар қателіктер алынды.

Өлшенген және есептелген Илемдеу күштерінің айырмашылықтары туралы ақпарат "Statistica" бағдарламалық пакетімен өңделді.

Диссертациядағы қателіктердің статистикалық таралуын көрнекі түрде көрсету үшін гистограммалар ұсынылған, 4.1-кестеде олардың сандық сипаттамалары көрсетілген.

#### 4.1 Кесте - Ыстық Илемдеу күші мен қозғалтқыш қуатының жаңа әдісі бойынша есептеу қателіктерін бөлудің статистикалық сипаттамалары

Параметр	Илемдеу күші	Электр қозғалтқышының қуаты
Орташа мән	4,81	5,7
Минимум	0,2	0,3
Максимум	11,1	12,9
Мода	3,2	-
Дисперсия	9,58	12,75
Орташа квадраттық ауытқу	3,09	3,57

Гистограммалар мен 4.1 кестелерді талдау келесі қорытынды жасауға мүмкіндік берді:

1) Ыстықтай Илемдеу Күшін есептеудің ең үлкен қателігі 11,1% - ды құрады. Илемдеудің есептік және өлшенген күш-жігерінің алшақтықтары 63,7% - да 6% - дан аспады, 5,9% жағдайда қателік 10% - дан асты.

2) Ыстық Илемдеу орнағының жұмыс клетінің негізгі жетегінің Электр қозғалтқыштарының қуатын есептеудегі ең жоғары қателік 12,9% -

ды құрады. Илемдеудің есептік және өлшенген күш-жігерінің алшақтықтары 51% жағдайда 6% - дан аспады, 10,8% жағдайда қателік 10% - дан асты.

3) Илемдеу күшін есептеу қателігінің ең типтік мәні (сән) – 3,2%.

4) Орташа мәннің (орташа квадраттық ауытқу) айналасындағы есептеудің тербелмелі қателігінің орташа шамасы:

– Илемдеу күші үшін-3,09%, яғни Илемдеу Күшін есептеудегі қателіктердің негізгі бөлігі (шамамен 70%) 1,72-7,9% аралығында жатыр;

– электр қозғалтқыштарының қуаты үшін-3,57%, қателіктердің негізгі бөлігі (шамамен 65%) 2,13 - 9,27% аралығында жатыр.

Бұл нәтижелер энергияны есептеудің жаңа әдісі сенімді және қалыңдығы 0,8-1,5 мм жолақтарды Ыстықтай Илемдеу процесінің параметрлерін модельдеуде қолдануға болады деген қорытынды жасауға мүмкіндік береді.

Қолданыстағы диірменнің сұрыпталымының едәуір бөлігін сипаттайтын ыстық Илемдеудың екі режимі үшін энергия қуатын есептеу әдісі инженерлік тәжірибеде жаңа және кең таралған дәлдікке салыстырмалы түрде бағаланды. Нәтижесінде ыстық Илемдеу Күшін белгілі әдістемелер бойынша есептеу БИО жұмысының өзгерген жағдайларында Илемдеудың нақты күшімен салыстырғанда оның мәндерін 11-68% - ға арттыруға әкелетіні анықталды; қозғалтқыш қуатын есептеудегі қателік 16-50% - ды құрайды. Бұл ретте жетілдірілген әдістеме бойынша энергия күш параметрлерін есептеу қателігі 10% - дан аспайды.

Осылайша, салыстырмалы талдау ыстықтай Илемдеу процесін энергосилдік есептеудің жаңа әдістемесінің артықшылығын және оны қазіргі табақ Илемдеу өндірісінің конструкторлық және технологиялық тәжірибесінде пайдаланудың орындылығын растады.

#### **4.2 Деформация ошақтарының құрылымдық және энергосилдік параметрлеріне Илемдеу процесінің негізгі факторларының әсерін зерттеу**

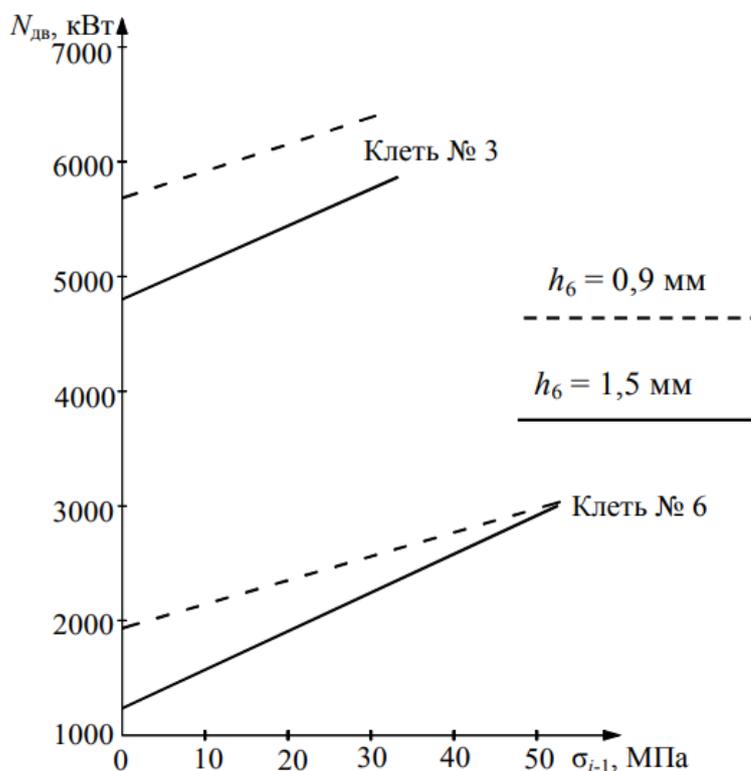
Үздіксіз кең жолақты диірменде ыстық Илемдеу процесінің дамыған моделін қолдана отырып, Илемдеу процесі параметрлерінің (жасушааралық кернеулер, салыстырмалы қысу, субкут температурасы) деформация ошақтарының құрылымына және энергия-қуат параметрлеріне әсерін зерттеу кешені жасалды.

Талдау үшін қалыңдығы 1,5 мм және 0,9 мм жолақтарды ыстық Илемдеудың екі жұмыс режимі таңдалды. салыстырмалы қысулар нақты диапазондарда өзгерді: № 1 клетте – 40-60 %, аралық клеттерде – 20-50%, № 6 клетте – 10-20 %. Жасушааралық кернеулер деформация металының кедергісінің 0-15% аралығында болды. Илемдеу процесінің басталу температурасы металдың қажетті микроқұрылымын және оның механикалық қасиеттерін қамтамасыз ететін 1040-1080 ° С аралығында өзгерді.

Зерттеу нәтижесінде ыстық Илемдеу кезінде байланыс кернеуі мен күш-жігерге әсер етудің ең тиімді құралы салыстырмалы қысу және субкут температурасы екендігі анықталды. БИО клеттері арасындағы қысылулардың түрленуі және қайта бөлінуі, субкат температурасының артуы соңғы клеттердегі кернеуді 20-30% - ға төмендетуге мүмкіндік береді.

Күш параметрлеріне әсер етпейтін жасушааралық кернеулер (олардың 2 есе артуы рср-нің тек 1-2% - ға төмендеуіне әкеледі) қуат тұтынуына айтарлықтай әсер етеді, бұл жұмыс клетінің жетек қуатын 6-17% өзгертуге мүмкіндік береді.

Зерттеулер көрсеткендей, артқы кернеудің жоғарылауымен ыстық илемдеу кезінде қуат классикалық илемдеу теориясынан туындағандай төмендемейді, бірақ артады (4.1 сурет). Бұл қуаттың мөлшеріне басым әсер орташа нақты қысымға қарағанда артта қалу және басып озу аймақтарының ұзындығы арасындағы арақатынасқа байланысты.



4.1 Сурет - Жетектің негізгі желісінің қозғалтқыштары қуатының артқы кернеуге тәуелділігі

### 4.3 Ыстықтай тапталған жолақтарды өндіру технологиясын жетілдіру үшін әзірленген әдістемені қолдану

Қалыңдығы 0,8-1,5 мм жолақтарды ыстықтай Илемдеудің тиімді режимдерін әзірлеу ыстықтай илектелген жолақтардың қалыңдығын 0,8-1,5

мм-ге дейін азайту үздіксіз кең жолақты ыстықтай Илемдеудің технологиялық процесінде бірқатар проблемаларға әкелді.

20 ғасырдың 80-ші жылдарына дейінгі кезеңмен салыстырғанда, ыстықтай илектелген жолақтардың минималды қалыңдығы 1,8-2,0 мм болған кезде және жалпы сығу 88-92% - дан аспаған кезде, көрсетілген минималды қалыңдықтардың жолақтарын Илемдеу кезінде жиынтық сығу 94-97% - ға дейін өсті, бұл барлық жұмыс ұяшықтарында жеке қысылулардың көбеюіне әкелді. 2009 жылғы мәліметтер бойынша тұрғындарының саны 152 адамды құрады.

Соңғы ұяшықтарда жылжымалы жолақтардың деформацияға төзімділігінің өсуіне байланысты, алғашқы ұяшықтарға қарағанда 1,6-1,7 есе аз болғанына қарамаорнақ, жеке қысылу деңгейі, қалыңдығы 0,8-1,5 мм жолақтарды Илемдеу кезінде олардағы қалыпты байланыс кернеуі артты: орташа 1000-1100 МПа дейін, максимум-1300-1950 МПа дейін, яғни қауіпті суық Илемдеу орнақтарының жұмыс клеттеріндегі байланыс кернеулерінің шамаларына сәйкес келетін мәндер.

Ыстық Илемдеу орнақының жұмыс клеттерінің орамдары материалының байланыс және шаршау беріктігі суық илемдеу орнақтарына қарағанда едәуір аз екенін ескере отырып, қалыңдығы 0,8-1,5 мм жолақтарды ыстық илемдеуді игерген кең жолақты диірмендердің соңғы ұяшықтарындағы жұмыс роликтерінің беріктігін арттыру міндеті үлкен өзектілікке ие болды.

Сонымен қатар, жалпы және жеке қысылулары бар жолақтарды илемдеу процесіне энергия шығындарының өсуіне байланысты ыстық илемдеу қондырғысының жұмыс клеттерінің негізгі жетегінің қозғалтқыштарын шамадан тыс жүктеместен сенімді қамтамасыз ету қажеттілігі туындады.

Көрсетілген қалыңдық диапазонының жолақтарын ыстықтай илемдеу кезінде тағы бір проблема туындады – жолақтардың ұзындығы (температура, қалыңдығы және ені) бойынша технологиялық параметрлердің тұрақсыздығынан туындаған бойлық аралықтың ұлғаюы, олардың тербелісі жалпы қысылудың жоғарылауымен жоғарылайды.

Бұл параметрлердің тұрақсыздығы осы типтегі диірмендерде олардың орташа мәндерінің 3-8% құрайтын жылжымалы күштердің жұмыс жасушаларында ауытқуларға әкеледі және бұл өз кезегінде жұмыс клетінің элементтерінің серпімді деформацияларына байланысты аралық саңылаудың қосымша тербелістерін тудырады, бұл бойлық аралықтың өсуіне ықпал етеді. Сондықтан олардың өлшемдерінің дәлдігін арттыру міндеті де өзекті болды.

Бұл мәселелерді шешу Илемдеудың технологиялық режимдерін жетілдіру арқылы жүзеге асырылды: жеке қысқыштардың, жасушааралық кернеулердің ұяшықтары арасында ұтымды бөлу, сондай-ақ жылжымалы жолақтардың температуралық режимі.

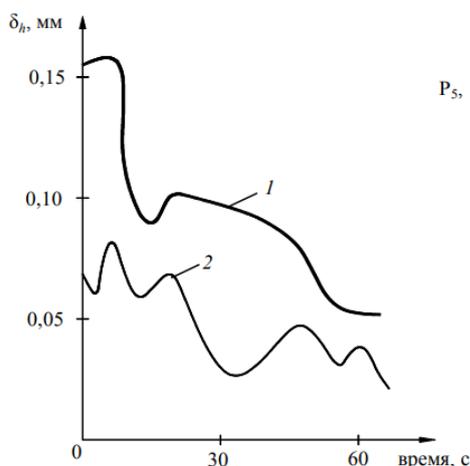
Сығу режимін жетілдірудің мәні ыстық Илемдеу зауытының соңғы тобының алғашқы үш және соңғы үш клеттері арасында жеке қысқыштарды қайта бөлу болды.

4-ші, 5-ші және 6-шы клеттерде жеке қысуды қолданыстағы технология бойынша қабылданған мәндерге қатысты 10 ... 30% - ға азайтып, олардағы ең жоғары Байланыс кернеулерін 20 ... 60% - ға, яғни қауіпті деңгейден 800 ... 1200 МПа-ға дейін төмендетті. Төменгі қабаттың қалыңдығын және жалпы қысуды сақтау үшін алғашқы үш ұяшықтағы жеке қысуды 2-10% - ға арттыру қажет болды. Бұл орамаларға қауіп төндірмейді, өйткені алғашқы үш ұяшықтағы байланыс кернеуі соңғы үшке қарағанда екі-үш есе аз. Осы әдіспен қысуды қайта бөлу ыстықтай илектелген жолақтардың бойлық әртүрлілігінің төмендеуіне ықпал етті. Бұл әсердің негіздемесі диссертацияда (5-тарау) клеттің серпімді сызығы мен жолақ қалыңдығының функциясына Илемдеу күшінің теңдеулерінің бірлескен шешімін графикалық интерпретациялау арқылы көрсетілген.

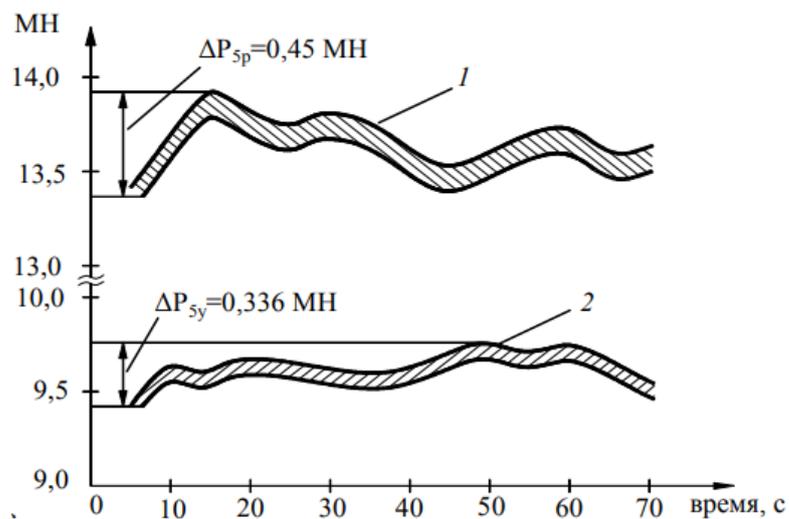
Подкат температурасы қалыңдығы 2,0 мм-ге дейін дайын илемтың микроқұрылымы мен механикалық қасиеттерін нашарлатпайтын ең жоғары мүмкін 1080 оС-қа дейін көтерілді.

Клетаралық меншікті керілістер деформацияға төзімділік шамасының 10-15% - на дейін ұлғайды, бұл іс-шара технологиялық процесті тұтастай тұрақтандырады: жолақ қозғалысының тұрақтылығын арттырады, оны Илемдеу осінде жақсы ұстап тұруға ықпал етеді, жолақтардың әркелкілігін азайтуға қосымша әсер етеді.

Барлық келтірілген деректер заманауи БИО-да Илемдеу технологиясының тиімділігі мен дәлдігін арттырудың үлкен резервтері туралы куәландырады. Жетілдірілген режимдерді өндіріске енгізудің экономикалық тиімділігі бір диірмен жағдайында жылына 200 миллион теңгеден асады.



4.2 Сурет - Илемдеу кезінде номиналды мәннен 1,5x1000 мм өлшемді жолақ қалыңдығының ауытқуының сипаттамалық графиктері: 1-жұмыс режимі; 2 – жетілдірілген режим



4.3 Сурет - Жазбаға тән диаграммалар жұмыс (1) және жетілдірілген (2) режимдер бойынша бір жолақты Илемдеу кезінде № 5 клетте Илемдеу күшінің өзгеруі

## ҚОРЫТЫНДЫ

Илемдеу орнақтарының технологиялық режимдерін жетілдіру мақсатында процестердің энергия күштік параметрлерін зерттеу және модельдеу жүргізілді. Жүргізілген жұмыстың нәтижелері келесідей:

1) Деформация ошағының белгілі модельдеріне, ыстықтай илемдеу процестерін энергосилдік есептеу әдістеріне талдау жасалды, келесі параметрлерді айқындаудың дәл болмауына байланысты оларды қазіргі заманғы жайма Илемдеу өндірісінің конструкторлық және технологиялық практикасында пайдаланудың орынсыздығы туралы қорытынды жасалды:

– деформация ошағының серпімді учаскелерінде оның өзгеруін есепке алмағанда, жолақтың деформацияға төзімділігі;

– деформация ошағының ұзындығы бойынша қалыпты жанаспалы кернеулердің оның серпімді учаскелерінде иілгіштік заңдары әрекет етпейтіндігін ескермей таралуы;

– деформация ошағының басым бөлігін алатын жабысу аймағындағы үйкеліс заңдылықтарын ескермей, деформация ошағының ұзындығы бойынша тангенсті кернеулердің таралуы;

– сәттен бас жетегінің орнақ, вычисляемого жоқ дұрыс шығындарды есепке энергиясы үйкелісті домалау.

2) Илемдеу кезіндегі деформация ошағының серпімді пластикалық моделі, жабысу аймағындағы металдың кернеулі күйін ескере отырып, толық зерттелген. Осы модельге негізделген зерттеулер, деформация металының кедергісін, қалыпты және тангенс контактілі кернеулерді, Илемдеу күштерін анықтауды қоса алғанда, Илемдеу орнақтарын энергия-күшті есептеудің жетілдірілген әдісі.

3) Ыстық илемдеу процестерінің қуатын есептеудің жаңа әдісі зерттелді, ол белгілі әдістерден келесі айырмашылықтарға ие:

– қалыпты және жанама байланыс кернеулерінің әсерінен деформация ошағында пайда болатын күштердің жұмысын ескереді;

– жылжымалы ось бойымен бағытталған және деформация ошағының серпімді және пластикалық учаскелерінің әрқайсысында осы осіне перпендикуляр күштердің жұмысын бөлек ескереді;

– артта қалу және ОЗУ аймақтарындағы тангенс кернеулерінің карама-қарсы бағытын, сондай-ақ жабысу аймағына тән тыныштық үйкелісінің заңдылықтарын ескереді.

4) Жұмыста сипатталған әдістерді қолдана отырып, диірменнің негізгі параметрлері мен Илемдеу процесінің деформация ошақтарының құрылымдық және энергетикалық параметрлеріне әсері туралы зерттеулер жүргізілді.

## ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1 Гарбер, Э.А. Моделирование процесса горячей илемки широких полос с учетом зоны прилипания в очаге деформации. [Текст] /Э.А. Гарбер, И.А. Кожевникова, П.А. Тарасов // Труды седьмого Конгресса илемчиков. Москва. -2007. – С. 484-492.

2 Гарбер, Э.А. Расчет усилий горячей илемки тонких полос с учетом напряженно- деформированного состояния в зоне прилипания очага деформации. [Текст] /Э.А. Гарбер, И.А. Кожевникова, П.А. Тарасов // Производство илема. № 4. -2007. – С. 7-15.

3 Гарбер, Э.А. Уточненный расчет мощности двигателей главного привода широкополосных орнаков горячей илемки. [Текст] /Э.А. Гарбер, И.А. Кожевникова, П.А. Тарасов // Производство илема. № 10. - 2007. – С. 5-12.

4 Гарбер, Э.А. Новый метод энергосилового расчета широкополосных орнаков горячей илемки. [Текст] /Э.А. Гарбер, И.А. Кожевникова, П.А. Тарасов // Вестник ЧГУ. № 3. -2008. – С. 19-26.

5 Гарбер, Э.А. Повышение эффективности листоилемного производства на основе новых методов моделирования процесс сов илемки. [Текст] /Э.А. Гарбер, И.А. Кожевникова, П.А. Тарасов // Материалы IV Международной научно-технической конференции «Автоматизация и энергосбережение машиностроительного и металлургического производств, технология и надежность машин, приборов и оборудования». – Вологда: ВоГТУ, -2008. - С. 13-15.

6 Гарбер, Э.А. Моделирование контактных напряжений и усилий горячей илемки тонких широких полос с учетом зоны прилипания и упругих участков очага деформации. [Текст] /Э.А. Гарбер, И.А. Кожевникова, П.А. Тарасов // Металлы. № 2. -2007. – С. 26-34.

7 Гарбер, Э.А. К вопросу о влиянии трения первого и второго рода на энергосиловые параметры горячей илемки в клетях кварто. [Текст] /Э.А. Гарбер, И.А. Кожевникова, П.А. Тарасов // Металлы. № 6. - 2007. – С. 47-56.

8 Гарбер, Э.А. Эффективные режимы горячей илемки тонких полос на широкополосных орнаках. [Текст] /Э.А. Гарбер, И.А. Кожевникова, П.А. Тарасов // Производство илема. № 1. -2009. – С. 10-16.

9 Харитонов В. А., Таранин И. В. Направления развития калибровок валков для илемки заготовки под волочение // Калибровочное бюро. 2014. Вып. 3. С. 34–51.

10 Кинзин Д. И. Оптимизация формы вытяжных калибров // Калибровочное бюро. 2013. Вып. 1. С. 20–28.

11 Jahedi, M. High-Pressure Double Torsion as a Severe Plastic Deformation Process: Experimental Procedure and Finite Element Modeling / M. Jahedi, M. Knezevic, M.-H. Paydar // Journal of Materials Engineering and Performance. — 2015. — Vol. 24, iss. 4. — P. 1471–1482.

12 Straska, J. Evolution of microstructure and hardness in AZ31 alloy processed by highpressure torsion / J. Straska [et al.] // *Materials Science and Engineering: A*. — 2015. — Vol. 625. — P. 98–106.

13 Alhamidi, A. Grain refinement and high strain rate superplasticity in aluminium 2024 alloy processed by high-pressure torsion / A. Alhamidi, Z. Horita // *Materials Science and Engineering: A*. — 2015. -Vol. 622. — P. 139–145.

14 Microstructure and mechanical properties of Al-7075 alloy processed by equal channel angular pressing combined with aging treatment / M.-H. Shaeri [et al.] // *Materials & Design*. — 2014. — Vol. 57. — P. 250–25.

15 Effect of route on tensile anisotropy in equal channel angular pressing / X. Zhang [et al.] // *Materials Science and Engineering: A*. — 2016. — Vol. 676. — P. 65–72.

16 Microstructural, texture, plastic anisotropy and superplasticity development of ZK60 alloy during equal channel angular extrusion processing / E. Mostaed [et al.] // *Metallurgia Italiana*. — 2015. — Iss. 11–12. — P. 5–12.

17 Inhomogeneity in strain, microstructure and mechanical properties of AA1050 alloy during twist extrusion / F.-J. Kalahroudi [et al.] // *Materials Science and Engineering: A*. — 2016. — Vol. 667. — P. 349–357.

18 Найзабеков, А. Б. Моделирование совмещенного процесса «илемка — прессование» с использованием равноканальной ступенчатой матрицы / А. Б. Найзабеков, С. Н. Лежнев, Е. А. Панин // *Труды Университета*. — 2008. — № 3. — С. 16–19.

19 Разработка модели прогнозирования энергосиловых параметров горячей илемки при подаче смазочного материала на валки непрерывного широкополосного орнака / С.И. Платов [и др.] // *Производство илема*. — 2014. — №4. — С. 3-9.

20 Математическое моделирование процесса изнашивания рабочих валков клетки кварто при подаче смазочного материала / С.И. Платов [и др.] // *Черные металлы. Спецвыпуск*. — 2012. — С. 54-57

21 И.И. Сеница // *Черная металлургия: Бюл. ин-та "Черметинформация"*. -М. 1986. - №24. - С. 20-21.

Магистрант Демеу Асқар Исаұлының магистрлік диссертациясына

**ҒЫЛЫМИ ЖЕТЕКШІНІҢ  
ПІКІРІ**

7M07111 – Машиналар мен жабдықтардың сандық инженериясы

Диссертация тақырыбы:

**«Илемдеу орнақтарының жұмыс тиімділігін арттыру үшін илемдеу үрдісінің энергокүштік параметрлерін модельдеу және зерттеу»**

Диссертациялық жұмыстың тақырыбы магистратура мамандығына толығымен сәйкес келеді және қазіргі кездегі илемдеу өндірісі үшін өзекті тақырыптардың бірі болып табылады. Диссертациялық жұмыстың мақсаты илемдеудің оңтайлы режимдерін аналитикалық жолмен анықтау, сонымен қатар илемдеу процесінің сандық модельдерін құру үшін әртүрлі режимдерді модельдеу арқылы зерттеу.

Алға қойылған мақсатқа жету үшін диссертант илемдеудің энергокүштік параметрлерін зерттеу және талдауға арналған илемдеудің 3D моделін және математикалық моделін құрды. Ол үшін DEFORM-3D инженерлік бағдарламасын қолданды. Зерттеу барысына илемдеудің энергокүштік параметрлерін жақсарту мәселесін қарастырды.

Жұмысты орындау барысында диссертант Демеу Асқар инженерлік бағдарламаларды жетік меңгегендігімен, теориялық білімінің тереңдігімен, зерттеу мақсаты мен міндеттерін орындауда дұрыс техникалық шешімдерді қабылдай алатындығымен, дерек көздерді және әртүрлі анықтамалық материалдарды дұрыс пайдалана алатындығымен ерекшеленді. Жұмысты орындауға берілген тапсырмаларды кестеге сәйкес уақытылы орындап отырды.

Диссертациялық жұмыста DEFORM-3D компьютерлік бағдарламасы арқылы ыстықтай илемдеу процесінің компьютерлік моделі жасалды және илемдеу процесінің параметрлері зерттелді.

Диссертациялық жұмыс магистрлік диссертацияға қойылған талаптарға сәйкес орындалған, жұмысты Аттестаттау комиссиясында қорғауға ұсынамын және оның авторы Демеу Асқар 7M07111 – Машиналар мен жабдықтардың сандық инженериясы білім беру бағдарламасы бойынша техника ғылымдарының магистрі академиялық дәрежесіне лайық деп санаймын.

**Ғылыми жетекші**  
**тех. ғыл. кандидаты,**  
**ТМЖК каф. меңгерушісі**

  
Бортебаев С.А.

«02» 06 2022 ж.

**«7M07111 – Машиналар мен жабдықтардың сандық инженериясы» білім беру бадарламасының магистранты Демеу Асқар Исаұлының «Илемдеу орнақтарының жұмыс тиімділігін арттыру үшін илемдеу үрдісінің энергокүштік параметрлерін модельдеу және зерттеу» тақырыбына орындалған магистрлік диссертациясына**

## ПІКІР

Магистрлік диссертация 50 беттен тұратын түсіндірмелік жазбадан тұрады. Диссертациялық жұмыс кіріспеден, 4 бөлімнен, қорытындыдан және әдебиеттер тізімінен тұрады.

Диссертациялық зерттеудің тақырыбы магистратура мамандығына толығымен сәйкес келеді және қазіргі кездегі илемдеу өндірісі үшін өзекті тақырыптардың бірі болып табылады. Осы салада технологиялар мен жабдықтарды жетілдіруге қатысты кез келген зерттеу жұмыстары аса маңызды болып отыр.

Диссертациялық жұмыстың мақсаты илемдеудің оңтайлы режимдерін аналитикалық жолмен анықтау, сонымен қатар илемдеу процесінің сандық модельдерін құру үшін әртүрлі режимдерді модельдеу арқылы зерттеу. Зерттеуші илемдеудің энергокүштік параметрлерін зерттеу және талдау үшін илемдеудің 3D моделін және математикалық моделін құрды. Илемдеу қасиеттерін жақсарту мәселесін қарастырды.

Зерттеу барысында келесі нәтижелер алынды: деформация ошағының серпімді учаскелерінде оның өзгеруін есепке алмағанда, жолақтың деформацияға төзімділігі және деформация ошағының ұзындығы бойынша қалыпты жанаспалы кернеулердің оның серпімді учаскелерінде иілгіштік заңдары әрекет етпейтіндігін ескермей таралуы.

Осылайша, диссертацияда қойылған барлық міндеттер толығымен шешілді. Диссертация ғылыми жаңалық пен практикалық маңызы бар талаптарға сәйкес келетін жұмыс. Илемдеудің энергокүштік параметрлерін зерттеу энергия тұтынуды азайту саласындағы перспективалы бағыттардың бірі болып табылады.

Диссертациялық жұмысқа ескерту ретінде зертханалық немесе өндірістік жағдайда эксперименттік зерттеулердің жүргізілмеуі. Илемдеу орнағының энергокүштік параметрлерін эксперимент жүзінде анықтап, нәтижелерін теориялық зерттеулермен салыстырып тексерген жағдайда жұмыстың құндылығы артар еді. Дегенімен, бұл ескертулер диссертациялық жұмыстың құндылығын төмендетпейді.

## Жұмысты бағалау

Жалпы алғанда диссертациялық жұмыс алға қойылған мақсаттары орындалған толық аяқталған ғылыми еңбек болып табылады. Жұмыс барлық талаптарға сай орындалған. Магистрлік диссертацияны «Өте жақсы» (95 балл) деп бағалай отырып оның авторы Демеу Асқарды осы білім беру бағдарламасы бойынша "Техника және технологиялар магистрі" академиялық дәрежесін алуға лайық деп есептеймін.

Пікір беруші:

ҚКЖУ ректоры,  
техн. ғыл. докторы, профессор

«» А. Турдалиев  
«» бөлімі 2022 ж.



## Метаданные

Название

**Сандық технологияларды қолданып ұсақтау жабдықтары жұмысының сенімділігін бағалау**

Автор

**Демеу Асқар Исаұлы**

Научный руководитель

**Саин Бортебаев**

Подразделение

**ИЭИМ**

## Список возможных попыток манипуляций с текстом

В этом разделе вы найдете информацию, касающуюся текстовых искажениях. Эти искажения в тексте могут говорить о ВОЗМОЖНЫХ манипуляциях в тексте. Искажения в тексте могут носить преднамеренный характер, но чаще всего характер технических ошибок при конвертации документа и его сохранении, поэтому мы рекомендуем вам подходить к анализу этого модуля со всей долей ответственности. В случае возникновения вопросов, просим обращаться в нашу службу поддержки.

Замена букв		82
Интервалы		0
Микропробелы		1
Белые знаки		0
Парафразы (SmartMarks)		25

## Объем найденных подобиий

Обратите внимание! Высокие значения коэффициентов не означают плагиат. Отчет должен быть проанализирован экспертом.



КП1

**25**

Длина фразы для коэффициента подобия 2



КП2

**8989**

Количество слов



КЦ

**75496**

Количество символов

## Подобия по списку источников

Просмотрите список и проанализируйте, в особенности, те фрагменты, которые превышают КП №2 (выделенные жирным шрифтом). Используйте ссылку «Обозначить фрагмент» и обратите внимание на то, являются ли выделенные фрагменты повторяющимися короткими фразами, разбросанными в документе (совпадающие сходства), многочисленными короткими фразами расположенные рядом друг с другом (парафразирование) или обширными фрагментами без указания источника ("криптоцитаты").

### 10 самых длинных фраз

Цвет текста

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ И АДРЕС ИСТОЧНИКА URL (НАЗВАНИЕ БАЗЫ)	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)	
1	Илемдеу орнақтарының жұмыс тиімділігін арттыру үшін илемдеу үрдісінің энергоқуштік параметрлерін модельдеу және зерттеу 4/2/2021 Satbayev University (ИМИПИ)	86	0.96 %
2	Илемдеу орнақтарының жұмыс тиімділігін арттыру үшін илемдеу үрдісінің энергоқуштік параметрлерін модельдеу және зерттеу 4/2/2021 Satbayev University (ИМИПИ)	51	0.57 %

3	Илемдеу орнақтарының жұмыс тиімділігін арттыру үшін илемдеу үрдісінің энергоқуштік параметрлерін модельдеу және зерттеу 4/2/2021 Satbayev University (ИМиПИ)	51	0.57 %
4	Илемдеу орнақтарының жұмыс тиімділігін арттыру үшін илемдеу үрдісінің энергоқуштік параметрлерін модельдеу және зерттеу 4/2/2021 Satbayev University (ИМиПИ)	47	0.52 %
5	Илемдеу орнақтарының жұмыс тиімділігін арттыру үшін илемдеу үрдісінің энергоқуштік параметрлерін модельдеу және зерттеу 4/2/2021 Satbayev University (ИМиПИ)	35	0.39 %
6	Илемдеу орнақтарының жұмыс тиімділігін арттыру үшін илемдеу үрдісінің энергоқуштік параметрлерін модельдеу және зерттеу 4/2/2021 Satbayev University (ИМиПИ)	33	0.37 %
7	Илемдеу орнақтарының жұмыс тиімділігін арттыру үшін илемдеу үрдісінің энергоқуштік параметрлерін модельдеу және зерттеу 4/2/2021 Satbayev University (ИМиПИ)	30	0.33 %
8	Илемдеу орнақтарының жұмыс тиімділігін арттыру үшін илемдеу үрдісінің энергоқуштік параметрлерін модельдеу және зерттеу 4/2/2021 Satbayev University (ИМиПИ)	29	0.32 %
9	<a href="https://belsteel.com/doc/publ/lm4-2016-56-61.pdf">https://belsteel.com/doc/publ/lm4-2016-56-61.pdf</a>	24	0.27 %
10	<a href="https://belsteel.com/doc/publ/lm4-2016-56-61.pdf">https://belsteel.com/doc/publ/lm4-2016-56-61.pdf</a>	24	0.27 %

#### из базы данных RefBooks (0.00 %)

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
------------------	----------	---

#### из домашней базы данных (5.57 %)

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
1	Илемдеу орнақтарының жұмыс тиімділігін арттыру үшін илемдеу үрдісінің энергоқуштік параметрлерін модельдеу және зерттеу 4/2/2021 <b>Satbayev University (ИМиПИ)</b>	<b>501 (20) 5.57 %</b>

#### из программы обмена базами данных (0.00 %)

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
------------------	----------	---

#### из интернета (0.78 %)

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	ИСТОЧНИК URL	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
1	<a href="https://belsteel.com/doc/publ/lm4-2016-56-61.pdf">https://belsteel.com/doc/publ/lm4-2016-56-61.pdf</a>	48 (2) 0.53 %
2	<a href="https://tekhnosfera.com/issledovanie-i-modelirovanie-energosiловyh-parametrov-protseсса-goryachey-prokatki-tonkih-polos-dlya-povysheniya-effektiv">https://tekhnosfera.com/issledovanie-i-modelirovanie-energosiловyh-parametrov-protseсса-goryachey-prokatki-tonkih-polos-dlya-povysheniya-effektiv</a>	22 (2) 0.24 %

## Протокол

### о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

**Автор:** Демеу Аскар Исаұлы

**Соавтор (если имеется):**

**Тип работы:** Магистерская диссертация

**Название работы:** Сандық технологияларды қолданып ұсақтау жабдыктары жұмысынын сенімділігін бағалау

**Научный руководитель:** Саин Бортебаев

**Коэффициент Подобия 1:** 6.4

**Коэффициент Подобия 2:** 4

**Микропробелы:** 1

**Знаки из других алфавитов:** 82

**Интервалы:** 0

**Белые Знаки:** 0

**После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:**

- Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.
- Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.
- Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.
- Обоснование:

*Дата*

30.05.22

*Заведующий кафедрой*



## Протокол

### о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

**Автор:** Демеу Асқар Исаұлы

**Соавтор (если имеется):**

**Тип работы:** Магистерская диссертация

**Название работы:** Сандық технологияларды қолданып ұсақтау жабдыктары жұмысынын сенімділігін бағалау

**Научный руководитель:** Саин Бортебаев

**Коэффициент Подобия 1:** 6.4

**Коэффициент Подобия 2:** 4

**Микропробелы:** 1

**Знаки из других алфавитов:** 82

**Интервалы:** 0

**Белые Знаки:** 0

**После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:**

Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

Обоснование:

Дата  
30.05.22

проверяющий эксперт